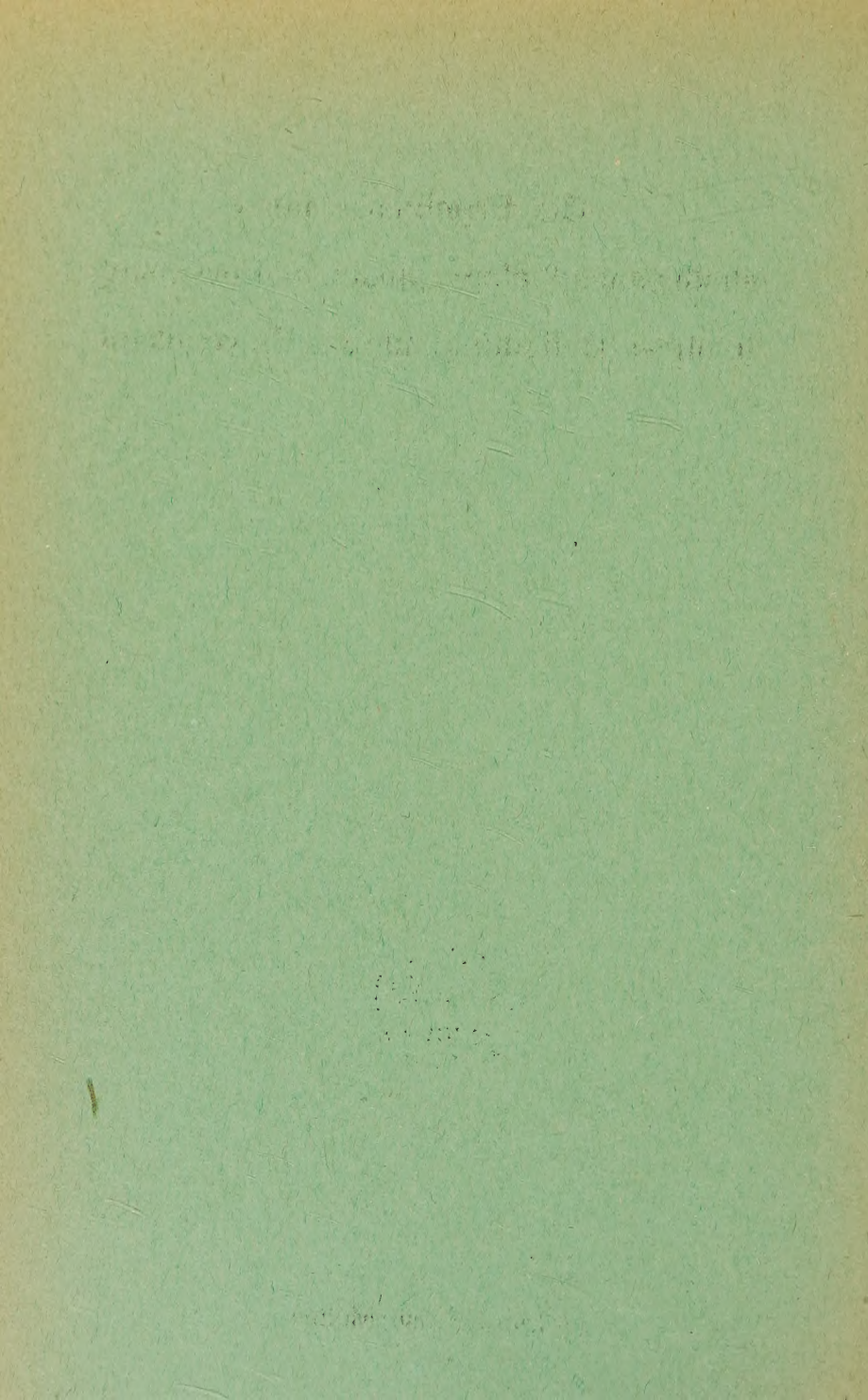


**Die Ergebnisse der
elektroencephalographischen Forschung
in ihrer Bedeutung für die Psychologie**

Marie-Luise Müller



7243 160

DIE ERGEBNISSE DER ELEKTROENCEPHALOGRAPHISCHEN FORSCHUNG
IN IHRER BEDEUTUNG FÜR DIE PSYCHOLOGIE

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Philosophischen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Marie-Luise Müller

aus Coburg



1959

5349/60

Gutachter: Prof.Dr.Heinz-Rolf L ü c k e r t

Referent: Prof.Dr.Philipp L e r s c h

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Februar 1959

Diese Arbeit entstand im Anschluß an 18-monatige Tätigkeit im Wissenschaftlichen Labor für Elektroencephalographie, Universitäts-Nervenlinik Erlangen (Leiter: Professor Dr. F. Flügel).

Hiermit sei Herrn Professor Dr. Flügel für die Ermöglichung der Arbeit in seiner Klinik und für die Überlassung des Kurvenmaterials gedankt.

Herrn Professor Dr. Lückert, München, danke ich für den Vorschlag des Themas und die Beratung.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Oberarzt Dr. Bente, Erlangen, für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und für die Durchsicht des Manuskriptes.

M.L. Müller

I N H A L T

Kap.		Seite
	Problemstellung und Aufbau	1
I	Historische Entwicklung und Versuchsanordnung	3
II	Das normale EEG	9
	1. Das EEG des Erwachsenen in der Standardableitung	9
	2. Das EEG bei Veränderungen der Bewußtseinslage	10
	3. Die Entwicklung des EEG beim Kind	13
III	Das pathologische EEG	18
	1. Die Allgemeinveränderungen des EEG	18
	2. Die Herdveränderungen des EEG	19
	3. Das EEG bei Epilepsien	19
	Exkurs a) Das EEG bei den Psychosen	23
	Exkurs b) Das EEG bei Stoffwechselstörungen und unter medikamentöser Einwirkung	24
IV	Die intraindividuelle Variabilität des EEG	26
	1. Das EEG bei Wahrnehmungen und Vorstellungen	27
	2. Das EEG bei Affekten	35
	3. Das EEG während hypnotischer Zustände	41
V	Die interindividuelle Variabilität des EEG	46
	1. Die Beziehungen zwischen EEG und Intelligenz	47
	2. EEG und psychologische Typen	52
	3. Das EEG bei Verhaltensstörungen	61
VI	Zur Theorie des EEG	73
	Möglichkeiten und Grenzen	86
	Literaturverzeichnis	87

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Diese Arbeit geht von der Überlegung aus, daß heute jeder Psychologe wenigstens das Wichtigste über die Elektroencephalographie und über die Forschungsergebnisse, die in den rund 30 Jahren seit dem Bestehen dieser Methode gewonnen wurden, wissen müßte, da diese zu verschiedenen Gebieten der Psychologie einige Beiträge liefern können, die nicht länger übersehen werden sollten.

Die Bedeutung der Elektroencephalographie für die Psychologie ergibt sich daraus, daß wir durch die Ableitung und Registrierung der Hirnströme erstmalig gewisse Aspekte der Großhirnrinden-Funktion unmittelbar in ihrem Verlauf beobachten können und somit eine neue Möglichkeit gewonnen haben, Zusammenhänge zwischen psychischen und hirnphysiologischen Vorgängen zu untersuchen. Vor allem auch für die psychologische Praxis sind die diagnostischen Hilfen, welche die Elektroencephalographie bieten kann, ein Gewinn. Denn es hat sich gezeigt, daß bei Menschen mit psychischen Abartigkeiten häufig eine hirnphysiologische Funktionsstörung besteht, die nur durch eine elektroencephalographische Untersuchung aufgedeckt werden kann.

So ergaben EEG-Untersuchungen an Gruppen von schwererziehbaren Kindern, daß bei etwa einem Viertel dieser Fälle Anomalien des Hirnstrombildes vorliegen. Da hier zweifellos ein Zusammenhang zwischen den Verhaltensstörungen und den EEG-Anomalien besteht (was vor allem auch darin zum Ausdruck kommt, daß eine entsprechende medikamentöse Therapie oft nicht nur die hirnphysiologischen Funktionsstörungen beseitigt, sondern gleichzeitig damit auch die Voraussetzungen für eine Behebung der Verhaltensstörungen weitgehend verbessert), ergibt sich für die psychologische Praxis und insbesondere für die Erziehungsberatung die Notwendigkeit, sich mit den Möglichkeiten der elektroencephalographischen Untersuchungsmethode vertraut zu machen.

Bisher liegt keine zusammenfassende Arbeit in deutscher Sprache vor, die für Psychologen als Einführung in das Gebiet der Elektroencephalographie dienen könnte. Die Einzelarbeiten sind meistens nicht leicht zugänglich, da der grösste Teil von ihnen in einer Vielzahl von vorwiegend ausländischen Fachzeitschriften verstreut ist. Diese Arbeit will nun versuchen, einen Überblick über den heutigen Stand der Elektroencephalographie zu geben, wobei neben den allgemeinen Ergebnissen der elektroencephalographischen Forschung, die

nur in summarischer Form gebracht werden, vor allem die Gebiete, die zur Psychologie eine engere Beziehung haben, unter möglichst vollständiger Berücksichtigung der einschlägigen Literatur (soweit diese in deutscher, englischer oder französischer Sprache erschienen bzw. in eine dieser Sprachen übersetzt ist) behandelt werden sollen. Dadurch kommt es allerdings zu einer Schwerpunktverschiebung, die ein falsches Bild von den tatsächlichen Verhältnissen innerhalb der EEG-Forschung vermitteln könnte. Deshalb muß betont werden, dass in Wirklichkeit die psychologisch ausgerichteten Arbeiten weitaus in der Minderzahl sind, während die Untersuchungen über andere Gebiete, die hier nur am Rande gestreift werden können (wie z.B. über pharmakologische Einwirkungen auf das EEG), einen viel breiteren Raum einnehmen.

Die Arbeit beginnt mit einem allgemeinen Teil, der nach einem Überblick über die historische Entwicklung und die Einzelheiten der Ableitetechnik eine Beschreibung der verschiedenen Formen des normalen und des pathologischen EEG bringt. Auch hierbei ergeben sich zum Teil schon Beziehungen zur Psychologie, so etwa in dem Abschnitt über EEG-Veränderungen bei Verschiebungen in der Bewußtseinslage. Sodann folgt ein mehr spezieller Teil, der in den Kapiteln über die intraindividuelle und die interindividuelle Variabilität des EEG diejenigen Untersuchungen behandelt, die ihren Ausgang von einer vorwiegend psychologischen Fragestellung genommen haben. Abschliessend wird ein Überblick über die Theorie des EEG gegeben.

HISTORISCHE ENTWICKLUNG UND VERSUCHSANORDNUNG

Die elektrische Aktivität des Gehirns wurde zum ersten Mal 1875 von dem englischen Physiologen CATON festgestellt. Er führte Elektroden in die graue Substanz des Gehirns von Affen und Kaninchen ein; ein Galvanometer, an welches diese Elektroden angeschlossen waren, zeigte das Vorhandensein einer elektrischen Aktivität an, die sich veränderte, wenn die Augen der Tiere angeleuchtet wurden.

Catons Entdeckung wurde anscheinend zu ihrer Zeit nur wenig beachtet. Erst 1890 erschien eine weitere Veröffentlichung auf diesem Gebiet: BECK schrieb im Zentralblatt für Physiologie über rhythmische Potentialschwankungen, die er aus dem Gehirn von Hunden abgeleitet hatte. Auch er fand bei sensorischer Reizung Veränderungen der elektrischen Aktivität.

Als Becks Artikel erschien, wurde von der Wiener Akademie der Wissenschaften eine weitere Arbeit über dieses Gebiet zur Veröffentlichung freigegeben. Diese war sieben Jahre vorher versiegelt dort eingereicht worden, mit dem Ersuchen, man möge sie erst dann öffnen, wenn von anderer Seite eine Arbeit über die elektrische Aktivität der Hirnrinde vorliege. Es war Fleischl von MARXOW's "Mitteilung betreffend die Physiologie der Hirnrinde", in der er berichtete, dass er bei Tieren, deren Augen erleuchtet wurden, grosse Potentialschwankungen von den visuellen Rindengebieten ableiten konnte, und zwar von der Dura Mater und sogar vom uneröffneten Schädel.

1892 veröffentlichten GOTCH und HORSLEY Untersuchungen zur Lokalisation der Funktionen im Zentralnervensystem, die sie ebenfalls mit Hilfe von Ableitungen aus verschiedenen Regionen der Hirnrinde durchgeführt hatten.

BECK und CYBULSKI stellten fest, dass eine lokale Verletzung des Gehirns Veränderungen der elektrischen Aktivität bewirkt (1892). Weitere Untersuchungen aus dieser Zeit befassten sich mit der Reaktion der elektrischen Hirnrindenaktivität auf periphere Reizung (DANILEWSKY 1891, LARIONOW 1898, TRIWONS 1900).

Inzwischen waren auch schon Zweifel laut geworden, ob die Potentialschwankungen, die sich von der Hirnrinde ableiten lassen, auch wirklich in den Nervenzellen entstehen und ob sie nicht stattdessen vom Blutstrom in den Blutgefäßen des Gehirns herrühren.

Erst das Einthovensche Saitengalvanometer, das etwa 1906 in Gebrauch kam, ermöglichte eine exaktere Registrierung elektrischer Potentiale. PRAWDICZ-NEMINSKI veröffentlichte als erster Untersuchungsergebnisse über die elektrische Aktivität des Gehirns, die mit Hilfe dieses Instrumentes gewonnen worden waren (1913). CYBULSKI wiederholte 1919 noch einmal mit dem Saitengalvanometer die Versuche, die er und BECK schon 1892 mit den primitiveren Instrumenten gemacht hatten, und er fand die früheren Ergebnisse bestätigt. 1925 erschien wieder eine Arbeit von PRAWDICZ-NEMINSKI über die elektrische Aktivität des Gehirns beim Hund. In ihr wird berichtet, dass sich von motorischen Rindengebieten und von occipitalen Rindengebieten spontane Potentialschwankungen, die unabhängig von sensorischen Reizen auftreten, ableiten lassen. PRAWDICZ-NEMINSKI prägte für diese Erscheinung den Namen "Elektrocerebrogramm"; er unterschied zwischen Potentialschwankungen, die mit einer Frequenz von 10-15/sec. auftreten und die er "Wellen erster Ordnung" nannte, und Potentialschwankungen von 20-30/sec., den "Wellen zweiter Ordnung". Diese Wellen konnte er von der Hirnrinde, von der Dura, oder von der Schädeloberfläche ableiten.

Als der eigentliche "Vater der Elektroencephalographie" gilt heute Hans BERGER (1873-1941), der Professor der Psychiatrie in Jena (und übrigens ein Enkel des Dichters Friedrich Rückert) war. Er machte seine ersten Versuche zur Ableitung der elektrischen Hirnaktivität von 1902 an, und zwar zunächst ebenfalls nur an Tieren. Wie PRAWDICZ-NEMINSKI konnte er eine spontane elektrische Aktivität des Gehirns feststellen. Am 6. Juli 1924 (dieser Tag ist in die Geschichte der Elektroencephalographie eingegangen) gelang ihm zum ersten Mal eine Ableitung von einem menschlichen Gehirn, und zwar bei einem jungen Mann mit einer grossen Schädeltrepanation. Er bediente sich unpolarisierbarer Elektroden, die mit 4 cm Abstand gesetzt wurden, und eines Edelmannschen Saitengalvanometers. In der Folge wiederholte er den Versuch an allen verfügbaren Patienten mit Schädelöffnungen und fand seine Resultate bestätigt. Später ging er dazu über, Ableitungen von der uneröffneten Schädeloberfläche zu machen. 1929 veröffentlichte er zum ersten Mal seine Ergebnisse, die aber von der Fachwelt wenig beachtet oder mit Skepsis aufgenommen wurden. In den folgenden Jahren setzte er seine Versuche fort; von 1929 bis 1939 erschien rund ein Dutzend Arbeiten von ihm, die meisten im Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten unter dem Titel "Über das Elektrenkephalogramm des Menschen". In ihnen legte er dar, dass die elektrischen Hirnrhythmen beim Men-

schen gewöhnlich in der Gestalt mehr oder weniger sinusförmig ablaufender Potentialschwankungen, deren Frequenzen zwischen 1/sec. und 60/sec. variieren können, auftreten, dass beim normalen Erwachsenen ein vorherrschender Rhythmus von 10/sec., besonders occipital, zu beobachten ist (wofür er die Bezeichnung "Alpha-Wellen" einführte), der bei "geistiger Arbeit" und Aufmerksamkeit verschwindet, und er kam zu der Überzeugung: "Es ist nun als einwandfrei erwiesen anzusehen, dass physiologische Prozesse in der menschlichen Großhirnrinde den psychischen Vorgängen des Menschen eindeutig zugeordnet sind".¹⁾ Man kann sagen, dass BERGER schon alle wesentlichen Merkmale des Hirnstrombildes von Gesunden und Kranken beschrieben hat. Seine Arbeiten fanden aber erst dann eine Beachtung auch in weiteren Fachkreisen, als im Jahre 1934 ADRIAN (der für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Elektrophysiologie den Nobel-Preis bekommen hatte) zusammen mit MATTHEWS in Cambridge die Richtigkeit von Bergers Versuchsergebnissen bestätigte. Von da an beginnt die eigentliche EEG-Forschung in allen Ländern; in dem seither abgelaufenen Vierteljahrhundert ist die Literatur über das Elektroencephalogramm - wie Bergers "Elektrenkephalogramm" im internationalen Sprachgebrauch abgewandelt wurde - so angewachsen, dass sie sich in ihrer Gesamtheit kaum noch übersehen lässt.

Der Weg zu einer klinischen Anwendung der Elektroencephalographie wurde durch die Entwicklung von direktschreibenden Geräten, welche die gleichzeitige Aufzeichnung der Ableitungen von verschiedenen Punkten des Schädels ermöglichen, eröffnet (auf diesem Gebiet waren die Arbeiten von TÖNNIES bahnbrechend). Besonders in den angelsächsischen Ländern wurden die diagnostischen Möglichkeiten des EEG erforscht (für die Epilepsie zuerst von GIBBS, DAVIS und LENNOX 1935, für die Feststellung von Hirntumoren von Grey WALTER 1936). Die weitaus meisten Arbeiten zur Elektroencephalographie seit 1935 liegen aus Amerika vor. Auch die Entwicklung der Apparaturen wurde dort weiter vorangetrieben. Erst nach dem Krieg wurde auch in Deutschland die EEG-Forschung in grösserem Umfang wieder aufgenommen, wobei man an die Ergebnisse, die inzwischen in anderen Ländern erzielt worden waren, anknüpfen konnte.

¹⁾ BERGER, H., Das Elektrenkephalogramm des Menschen und seine Bedeutung für die Psychophysiologie
Z.f.Psychol. 1932, 126: 1, S.3.

A p p a r a t u r u n d A b l e i t e t e c h n i k .

Die vom Schädel ableitbaren Potentialschwankungen sind sehr klein; sie liegen in der Größenordnung von etwa 5-100 Mikrovolt (1 Mikrovolt = ein Millionstel Volt). Bei den heute gebräuchlichen EEG-Apparaten werden sie vor ihrer Registrierung über ein Verstärkersystem geleitet. Dieses arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie die Verstärkerröhren eines Radioapparates. Kleine Potentialschwankungen (die hier durch Elektroden von der Schädeloberfläche aufgenommen werden) gelangen zu den ersten Röhren des Verstärkers. Die Verstärker sind heute durchwegs als Gegentaktverstärker mit einer R-C-Kopplung geschaltet. Die Hirnpotentiale werden von den ersten beiden Röhren verstärkt weitergegeben. Ein EEG-Apparat hat normalerweise drei Verstärkerstufen; die vierte und letzte Stufe ist als Stromverstärker geschaltet und steuert ein Schreibsystem. Die Verstärkungshöhe wird bestimmt durch einen Eich-Impuls, der auf den Eingang des Verstärkers gegeben wird. Dieser ist normalerweise 50 Mikrovolt bei einer Auslenkung des Schreibsystems von ca. 6-10 mm.

Beim EEG-Apparat werden die Hirnpotentiale mit etwa millionenfacher Verstärkung aufgezeichnet. Die Registrierung erfolgt heute im allgemeinen mittels Direktschreibern, bei denen die Kurven sofort sichtbar sind. Diese gibt es in der Form von Tintenschreibern, und als Durchschreiber mit Kohlepapier. In Deutschland werden heute ausschließlich EEG-Apparate nach dem Durchschreibesystem von SCHWARZER hergestellt. Die EEG-Apparate für den klinischen Gebrauch haben heute in der Regel acht voneinander unabhängige Kanäle und ebenso viele Schreiber zur Registrierung der Kurven von den verschiedenen Ableitpunkten; Apparate mit noch mehr Kanälen werden vor allem zu polygraphischen Ableitungen verwandt, bei denen gleichzeitig mit dem EEG auch weitere physiologische Erscheinungen wie das EKG, der psychogalvanische Hautreflex oder die Atemkurve registriert werden können.

Zur Ableitung werden heute meist Dreifußelektroden mit einem eingelassenen Stift, der aus elektrolytisch reinem Feinsilber mit möglichst geringer Polarisierbarkeit besteht, verwandt. Dieser Stift wird mit Flanell überzogen und bei jeder Ableitung mit physiologischer Kochsalzlösung durchtränkt. Die Elektroden werden mittels einer Gummibandhaube auf die Kopfhaut aufgesetzt. Von den Elektroden aus laufen dünne Zuleitungsdrähte zu einem Sammelstecker hin-



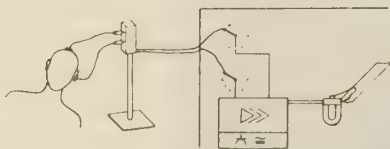
a)



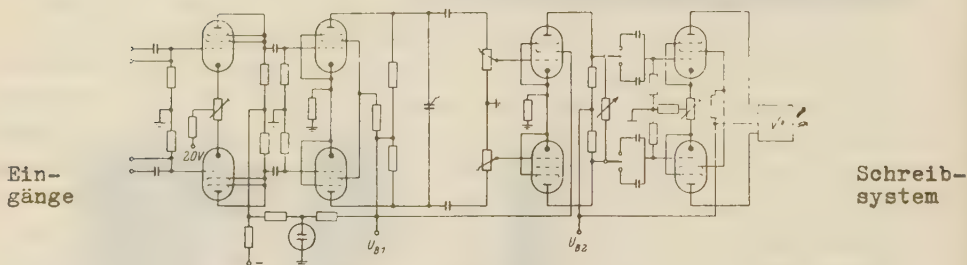
b)

a) Anlegen der Elektroden

b) Ableitung im Nebenraum; der Patient kann durch ein Fenster beobachtet und angesprochen werden.



a) Wirkungsschema einer EE-Einheit



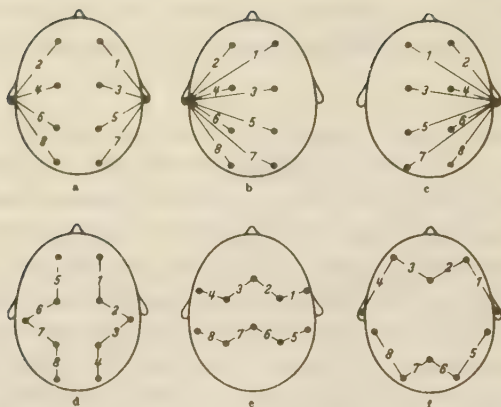
b) Schaltbild des EE-Verstärkers (eine Kanaleinheit)

aus: F.Schwarzer, Elektro-Encephalographie, Technische Grundlagen des EE-Gerätes und Verstärker.
Arch.für Technisches Messen, 1957, Lieferung 258, S.147 u.149

ter dem Kopf des Patienten; von da aus führen abgeschirmte Kabel zu den Verstärkereingängen des EEG-Apparates.

Im Folgenden sollen die gebräuchlichsten Elektrodenanordnungen für einen Apparat mit acht Kanälen beschrieben werden (Ableiteschema von R. JUNG).

1. Unipolare Ableitungen. Die Elektroden werden beim Erwachsenen im allgemeinen mit 7-8 cm Abstand voneinander gesetzt, und zwar so, dass jeweils die frontalen, praezentralen, temporalen, parietalen und occipitalen Hirnabschnitte abgegriffen werden. Für die sogenannten unipolaren Ableitungen werden die gemeinsamen Bezugselektroden an den Ohrläppchen angebracht. Die Ableitung erfolgt dann für jeden der Punkte auf der Schädelkonvexität gegen die gleichseitige Ohrelektrode; es wird also jeweils die Potentialdifferenz zwischen dem betreffenden Punkt des Schädels und dem Ohr (das jedoch elektrisch nicht indifferent ist, sondern von der Aktivität der Temporo-Basal-Regionen beeinflusst wird) registriert. Weitere Ableitungen, bei denen die Elektroden sämtlicher Ableitpunkte erst gegen die eine, dann gegen die andere Ohrelektrode geschaltet werden, ermöglichen eine genauere Feststellung von Seitendifferenzen.
2. Bipolare Ableitungen. Es werden jeweils zwei Punkte auf dem Schädel gegeneinander abgeleitet, in der Weise, dass jede Ableitung in der Reihe eine gemeinsame Elektrode mit der nächsten hat. Die unmittelbar unter einer gemeinsamen Elektrode entstehenden Potentialschwankungen erscheinen mit umgekehrter Phasenrichtung in den beiden angekoppelten Kanälen. Herdveränderungen kommen mit diesem Ableiteschema besonders gut zum Ausdruck. Die Kurve erscheint aber wegen der kleineren Abstände zwischen den einzelnen Elektroden (im Vergleich mit den Abständen der Schädelelektroden zu den Ohrelektroden bei der unipolaren Ableitung) flacher und weniger differenziert nach Amplitudenhöhen. Weitere Ableitungsschemata, die sogen. Querreihen, die im allgemeinen nur bei Herdverdacht zum Zweck der Lokalisierung angewandt werden, brauchen hier nicht näher beschrieben zu werden. Für Forschungszwecke allgemeinerer Art, bei denen es ja nicht auf die Lokalisation umschriebener pathologischer Erscheinungen ankommt, ist in Amerika und Deutschland die unipolare Ableitung üblich, während man in Frankreich und England meistens die bipolare Schaltung in Längsreihe bevorzugt.



Schema der wichtigsten Ableitkombinationen für ein 8-faches EEG-Gerät

- a) "Unipolare Ableitung" von symmetrischen Punkten der oberen Schädelkonvexität links und rechts jeweils gegen das gleichseitige Ohr. Mit dieser Ableitung erhält man bereits einen guten Überblick über die wichtigsten EEG-Veränderungen, da das Ohr als Ableitung für die untere Temporalregion gelten kann.
 - b) Dieselben Ableitungen, sämtlich gegen das linke Ohr geschaltet.
 - c) Dieselben Ableitpunkte in umgekehrter Reihenfolge, links jeweils in der oberen Kurve (statt wie bei a) und b) in der unteren Kurve), sämtlich gegen das rechte Ohr.
 - d) Reihenableitung jeweils von frontal über präzentral, temporal, parietal bis occipital in den oberen 4 Kurven rechts, in den unteren 4 Kurven links.
 - e) 2 Querreihen vorne und hinten, die jeweils von temporal rechts bis temporal links reichen und 2 Mittellinienelektroden in der Präzentral-Parietalregion enthalten.
 - f) Die vordere Querreihe bis zum Ohr, die hintere Querreihe bis temporal. Die neuen Elektrodenlagen können noch durch eine weitere unipolare Schaltung kontrolliert werden.
- Wesentlich ist bei diesen Ableitungen, daß alle Punkte in verschiedener Kombination mehrfach vorkommen und daß man konstante Befunde dadurch von unsicheren einzelnen Abweichungen und Artefakten besser unterscheiden kann.

(aus R. JUNG, Neurophysiologische Untersuchungsmethoden, im Handbuch der inneren Medizin, S.1222).

Während der Ableitung muss der Patient völlig entspannt und ruhig sitzen. Man hat zu diesem Zweck bequeme Stühle mit verstellbarer Rückenlehne und Nackenstütze. Eine Verkrampfung (besonders der Hals- und Nackenmuskulatur) lässt in der EEG-Kurve Muskelpotentiale erscheinen, welche die Wellen des EEG weitgehend verdecken können. Auch Bewegungen des Patienten wirken sich auf die Kurve aus und müssen deshalb nach Möglichkeit ausgeschaltet werden.

Für die Auswertung der Kurven hat sich eine international gebräuchliche Terminologie entwickelt. Die Wellenarten des EEG werden allgemein folgendermassen eingeteilt:

1. Alpha-Wellen. Diese haben eine Frequenz zwischen 8 und 12/sec. (Höhepunkt der Verteilungskurve zwischen 9 und 10/sec.) und treten vor allem occipital auf.
2. Beta-Wellen, von 13-30/sec. und vorwiegend in den mittleren und vorderen Hirnregionen. (Die schnelle Aktivität mit niedrigen Amplituden, die z.B. bei der sogenannten Alpha-Blockierung auftritt, bezeichnet man in den angelsächsischen Ländern nicht als Beta-Wellen, sondern als "low voltage fast activity", schnelle Wellen mit niedrigen Amplituden.)
3. Theta-Wellen oder Zwischenwellen, von 4-7/sec.
4. Delta-Wellen, von 1-3,5/sec.

Die Auswertung für klinische Zwecke erfolgt im allgemeinen ohne technische Hilfsmittel. Der geübte EEG-Auswerter sieht die ganze Kurve durch und nimmt Kenntnis von den charakteristischen Merkmalen der Kurve (Wellenformen, Frequenz und Ausprägung derselben, Amplitudenhöhen etc.) und deren topographischen Verteilung. Es gehört viel Erfahrung zur EEG-Auswertung; nach JUNG muß man erst etwa 1000 EEG-Kurven gesehen haben, ehe man einigermaßen sichere Deutungen geben kann.

Mit automatischen Frequenzanalysatoren können heute die Anteile der verschiedenen Frequenzbereiche an einer Ableitung genauer ermittelt werden. Die Analyse des Frequenzspektrums kann nach verschiedenen Prinzipien erfolgen, deren Gültigkeit jedoch zum Teil umstritten ist.

Die Erfahrungen mit der Frequenzanalyse sind bisher auf Grund der hohen Gestehungskosten dieser Apparaturen relativ beschränkt.

Kapitel II

DAS NORMALE EEG

In diesem Kapitel sollen die verschiedenen Formen des normalen EEG beschrieben werden, und zwar 1. beim Erwachsenen unter Standardbedingungen, 2. bei Veränderungen der Bewußtseinslage und 3. im Verlauf der Entwicklung beim Kind.

1. Das EEG des Erwachsenen in der Standardableitung.

Die routinemässigen EEG-Ableitungen werden, damit ihre Vergleichbarkeit gewährleistet ist, immer unter Standardbedingungen durchgeführt, d.h., der Patient sitzt ganz ruhig mit geschlossenen Augen in einem gegen Geräusche weitgehend abgeschirmten Raum; dabei soll er nach Möglichkeit körperlich und geistig völlig entspannt sein.

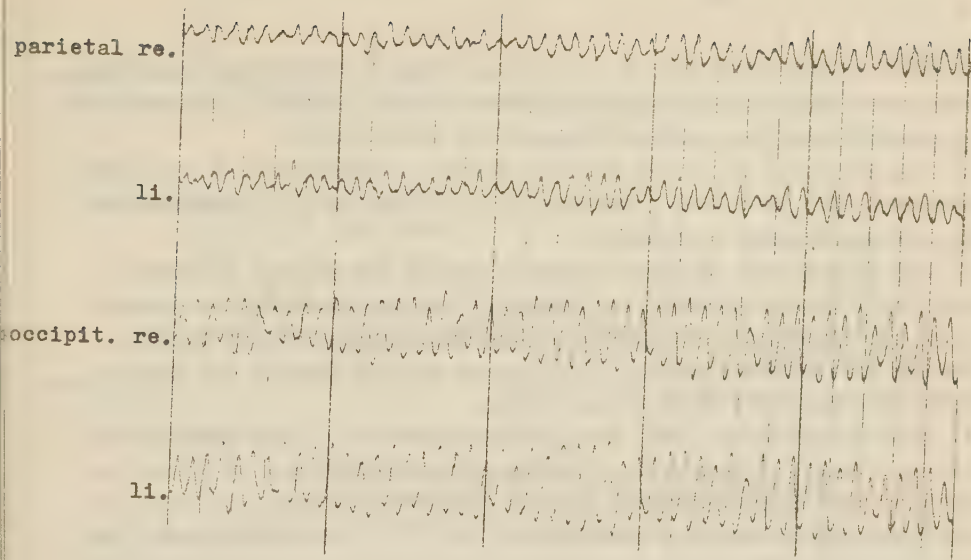
Auch unter diesen Standardbedingungen können sich die EEG-Kurven von normalen Erwachsenen noch sehr voneinander unterscheiden. Als Hauptmerkmal des Erwachsenen-EEG gilt der Alpha-Rhythmus mit einer Frequenz von 8-12/sec., der vorwiegend occipital auftritt und nach den vorderen Hirnregionen zu nach Amplitudenhöhe und Ausprägung abnimmt. Bei Augenöffnen verschwinden die Alpha-Wellen und an ihre Stelle treten schnelle Wellen niedriger Amplituden (Alpha-Blockierung).

Um den Grad der Ausprägung des Alpha-Rhythmus angeben zu können, wurde der Begriff der Alpha-Prozentzeit oder des Alpha-Index eingeführt, in dem zum Ausdruck kommt, wie groß der Anteil der Alpha-Wellen an der occipitalen Gesamtableitung ist. Eine Einteilung der verschiedenen EEG-Typen von Gesunden nach der Alpha-Prozentzeit schlug DAVIS (1936) vor; danach ergeben sich vier Typen:

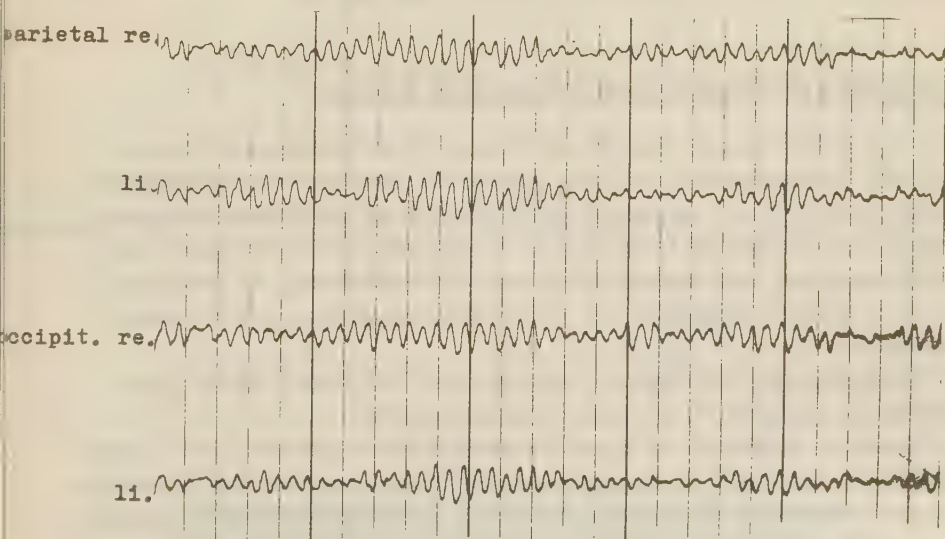
1. Alpha-Rhythmus von 75-100 % ("dominant")
2. Alpha-Rhythmus von 50- 75 % ("subdominant")
3. Alpha-Rhythmus von 25- 50 % ("gemischt")
4. Alpha-Rhythmus von 0- 25 % ("gering").

Eine andere Einteilung, die nicht nur von der Ausprägung des Alpha-Rhythmus, sondern vom Gesamtbild der Kurve ausgeht, wird von JUNG vorgeschlagen. Auch er stellt vier Hauptformen des EEG bei Gesunden auf:

1. Das Alpha-EEG. Es wird bestimmt durch einen gut ausgeprägten Alpha-Rhythmus vorwiegend occipital und parietal. Präzentral-



Alpha-Rhythmus von 10/sec. (35-jähriger Mann)



Alpha-Rhythmus von 11,5/sec. (32-jähriger Mann)

frontal können Beta-Wellen in kleinen Gruppen auftreten. Eine weniger reine Form dieses Typs zeigt einen etwas geringer ausgeprägten Alpha-Rhythmus und größere Gruppen von Beta-Wellen.

2. Das Beta-EEG. Es zeigt häufige Folgen von Beta-Wellen mit einer Frequenz von 16-25/sec., während Alpha-Wellen nur in vereinzelten kleineren Gruppen auftreten.

3. Das flache EEG. Es wird charakterisiert durch eine allgemein geringe Spannungsproduktion; Alpha-Wellen und Beta-Wellen lassen sich nur vereinzelt feststellen. Nur dann, wenn die Augen nach kurzem Geöffnetsein wieder geschlossen werden, können die Alpha-Wellen etwas deutlicher hervortreten.

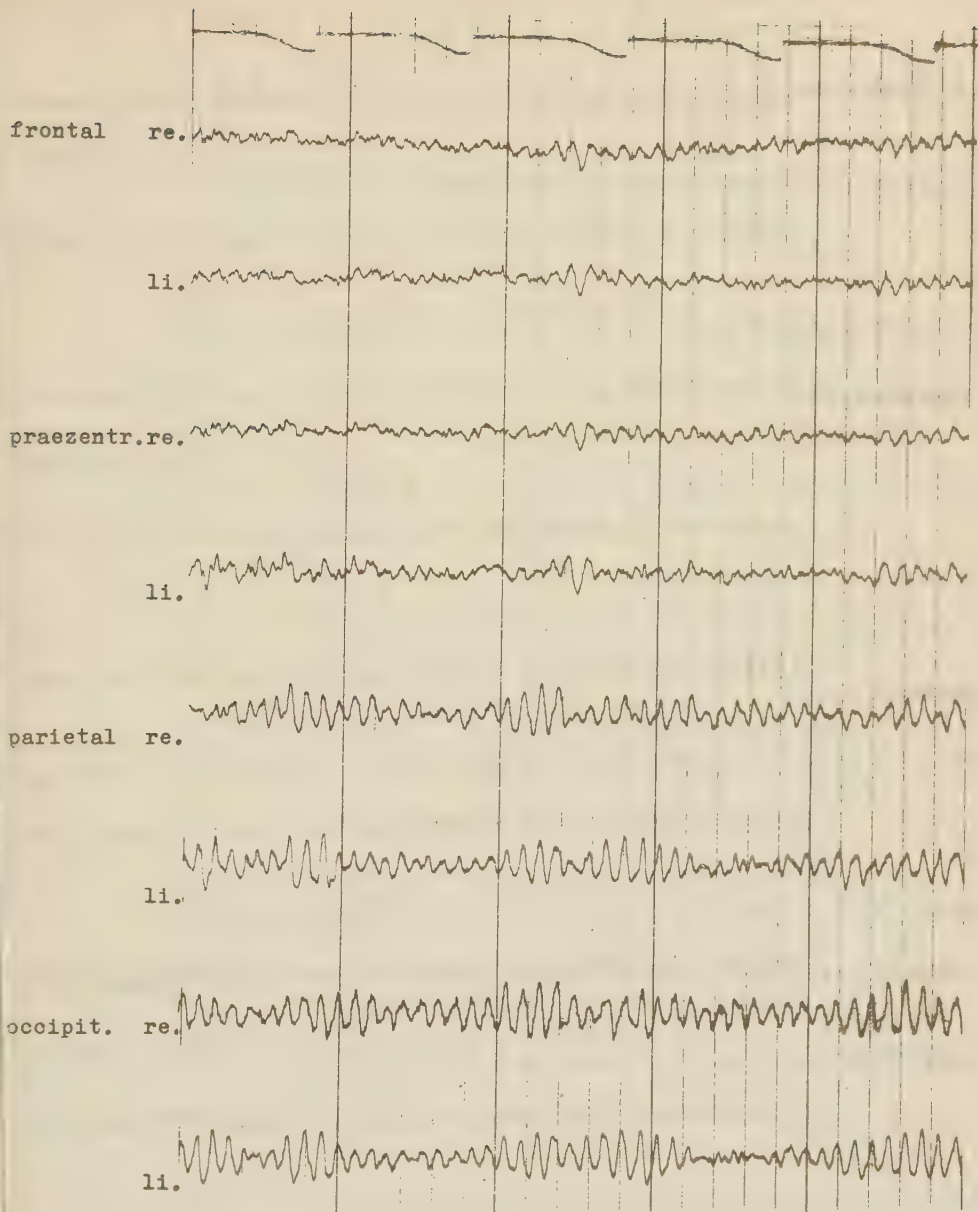
4. Das unregelmäßige EEG. Der Alpha-Rhythmus ist hier unregelmäßiger, seine Frequenz kann eine Variationsbreite bis zu 3/sec. haben. Es treten eingestreute flache Theta-Wellen auf; die Amplituden über der vorderen Schädelregion sind oft auffallend groß. Das unregelmäßige EEG zeigt fließende Übergänge zu der pathologischen Form der Allgemeinveränderung.

Die besondere EEG-Form eines Individuums, soweit sie nicht durch organische Schäden beeinflusst ist, scheint weitgehend erblich bedingt zu sein, wie Untersuchungen von LENNOX, GIBBS und GIBBS (1945) und von KENNARD (1949) gezeigt haben.

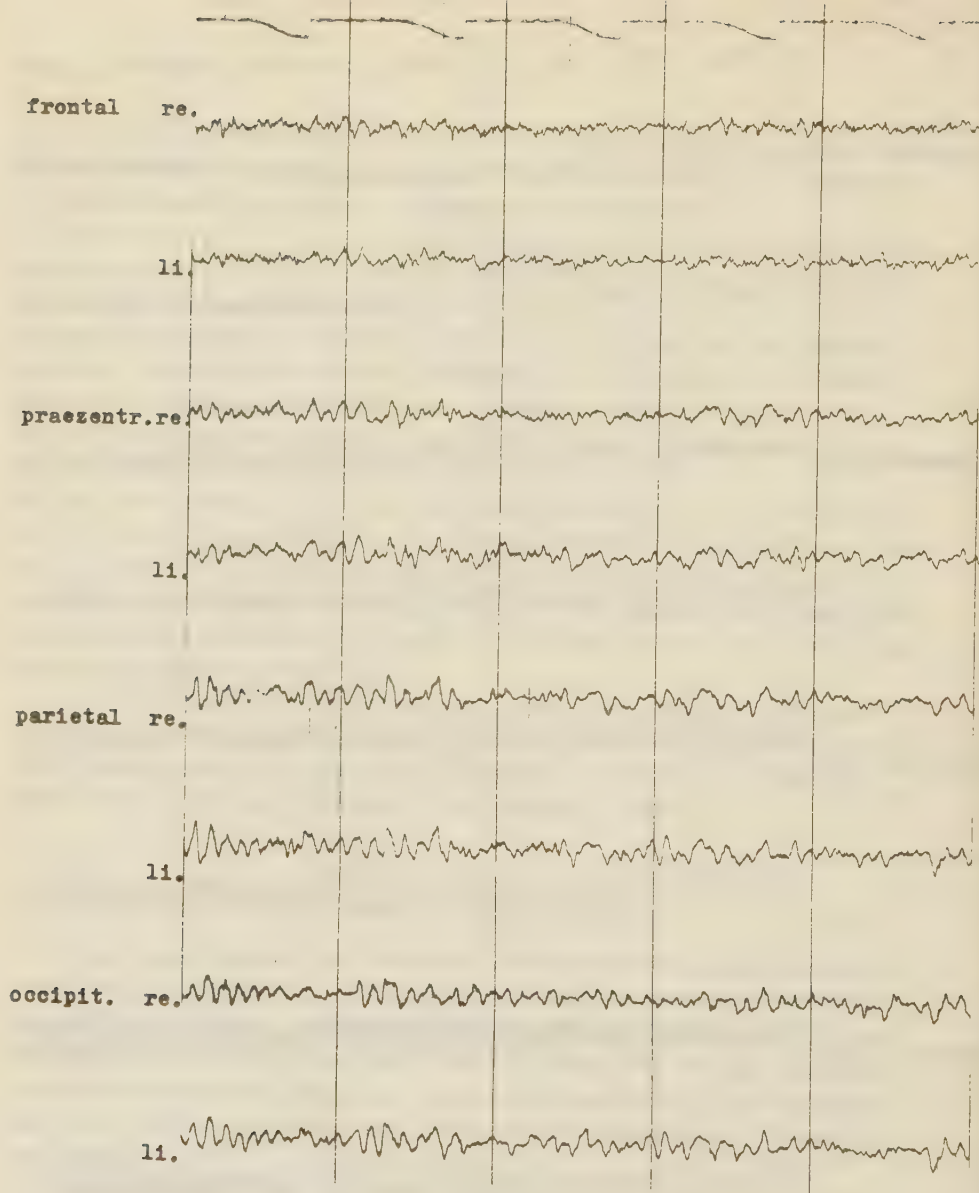
2. Das EEG bei Veränderungen der Bewußtseinslage.

Bei Abweichungen von der mittleren Bewußtseinslage des entspannten Wachzustandes, wie sie unter den Standard-Ableitebedingungen gegeben ist, verändert sich das EEG in charakteristischer Weise. Im allgemeinen geht eine Verschiebung der Bewußtseinslage in Richtung auf den Schlaf mit einer Verlangsamung, in Richtung auf eine erhöhte Wachheit mit einer Beschleunigung der Frequenzen einher.

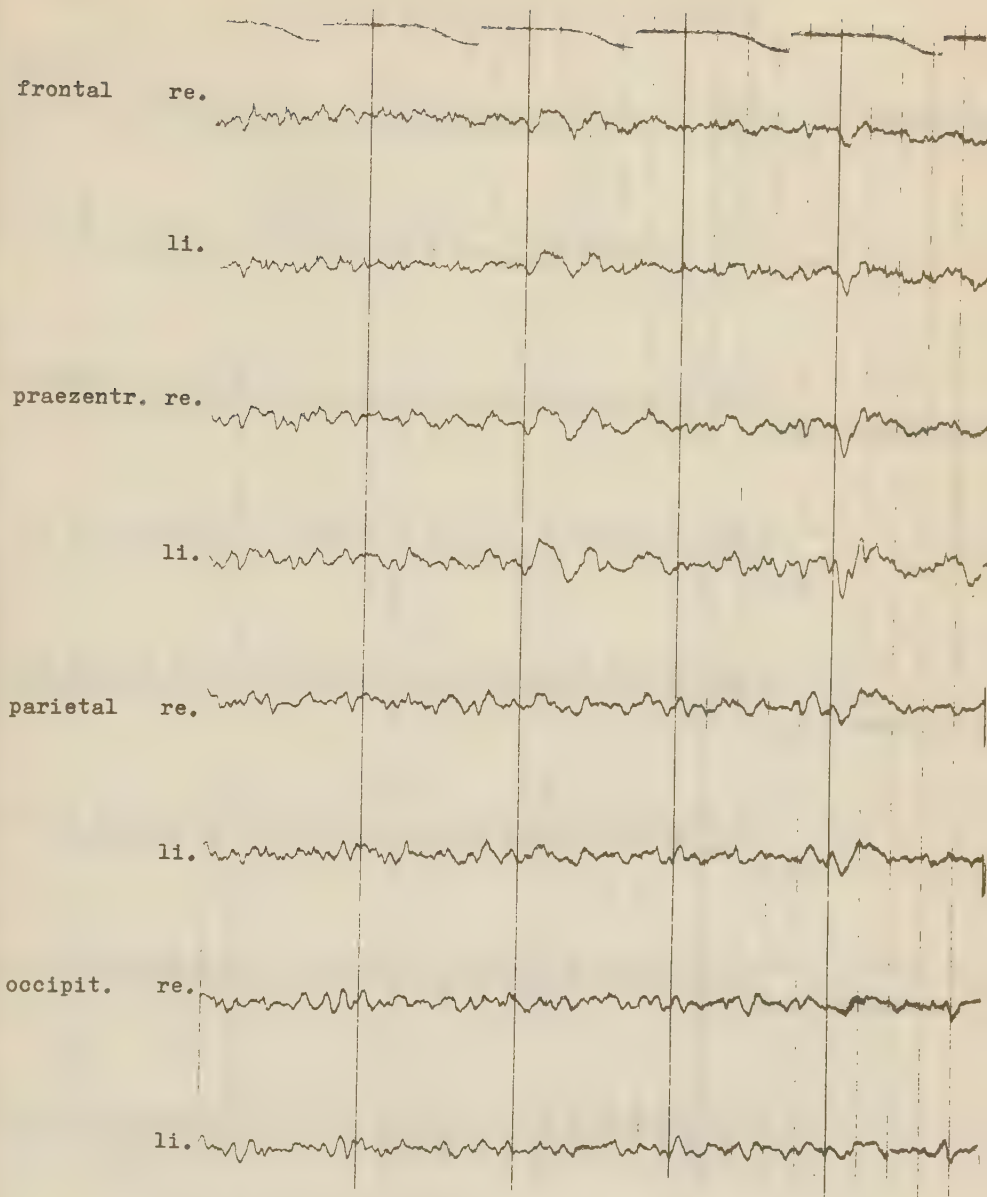
Der Übergang vom Wachen zum Schlafen vollzieht sich, elektroencephalographisch gesehen, folgendermaßen: Oft kommt es zunächst zu einer vorübergehenden Zunahme der Alpha-Aktivität, was wohl in Zusammenhang mit dem kurz vor dem Einschlafen eintretenden körperlich-seelischen Entspannungszustand steht (Stadium A nach LOOMIS, HARVEY und HOBART, 1937). Sodann erscheinen in die Alpha-Aktivität eingelagerte Phasen niedriger Spannungsproduktion, die zuerst wenige Sekunden andauern und im-



60-jährige Frau. Ableitung im wachen Ruhezustand.
Die Frau schlief im Verlauf der Ableitung ein. Auf
den folgenden Seiten finden sich Kurvenausschnitte
aus den verschiedenen Schlafstadien.

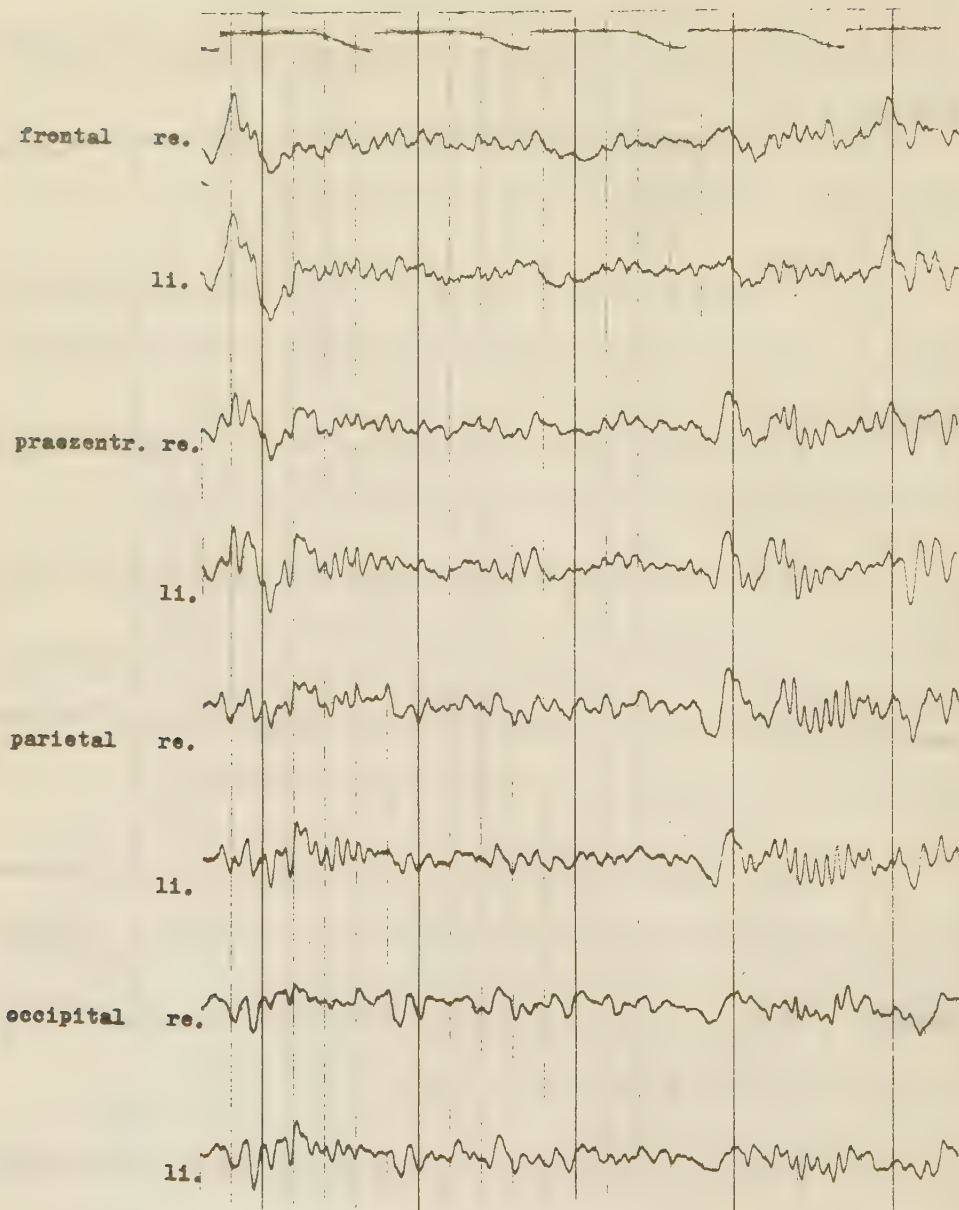


30 Sekunden später: beginnende Ermüdung. Spannungsreduktion der Alpha-Aktivität, Auftreten relativ niedergespannter Aktivitätsphasen mit vermehrter Theta-Einstreuung. (Stadium A-B).



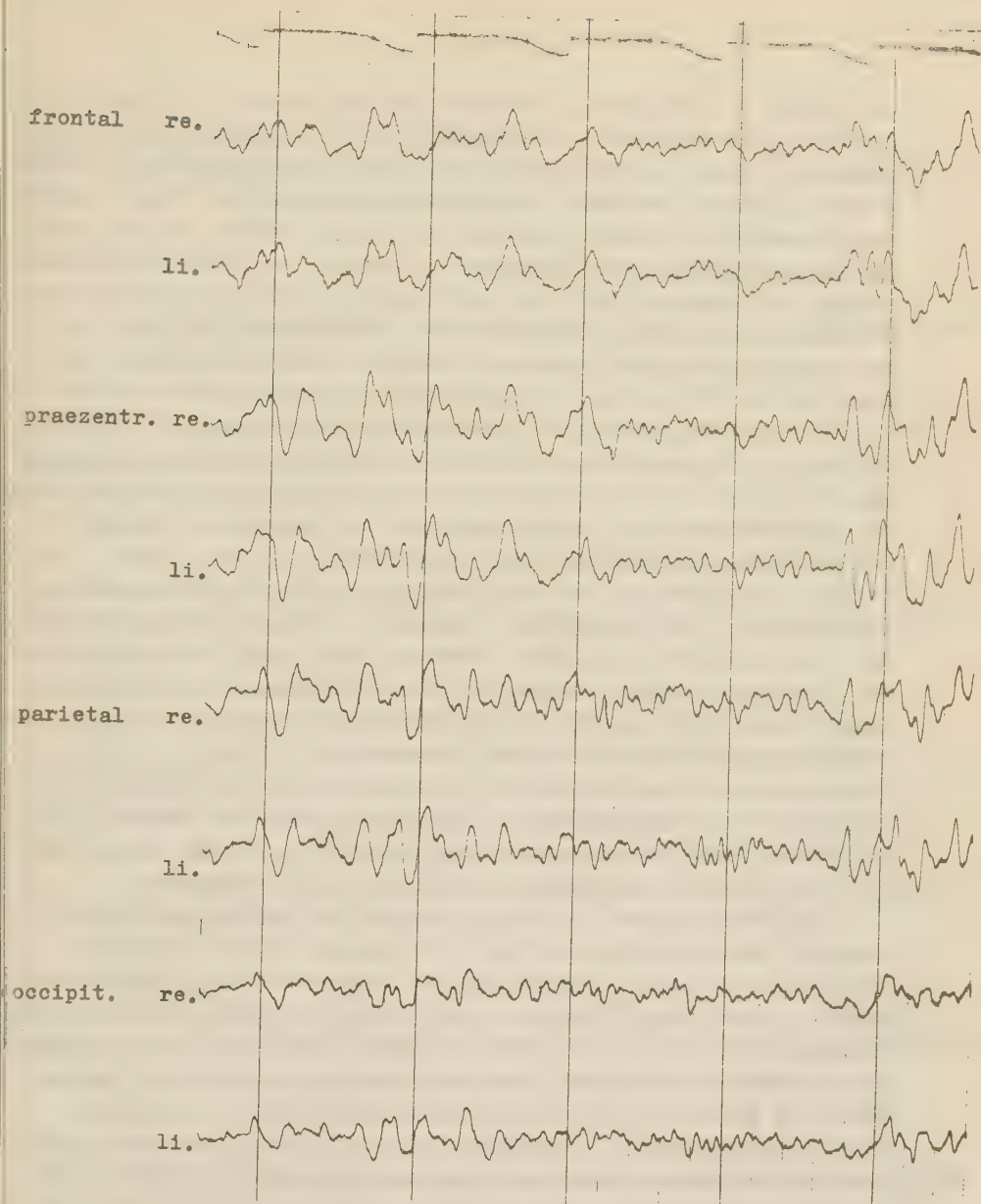
20 Sekunden später:

Einschlafstadium. Allgemeine Spannungsreduktion mit
praezentral dominierenden amplitudenhöheren 3-4/sec.
Wellen (Stadium B).



6 Minuten später:

Leichter bis mässig tiefer Schlaf. Zentro-parietal dominierende 14/sec. Spindeln im Wechsel mit amplitudenhöheren, langsameren Wellen (Stadium C).



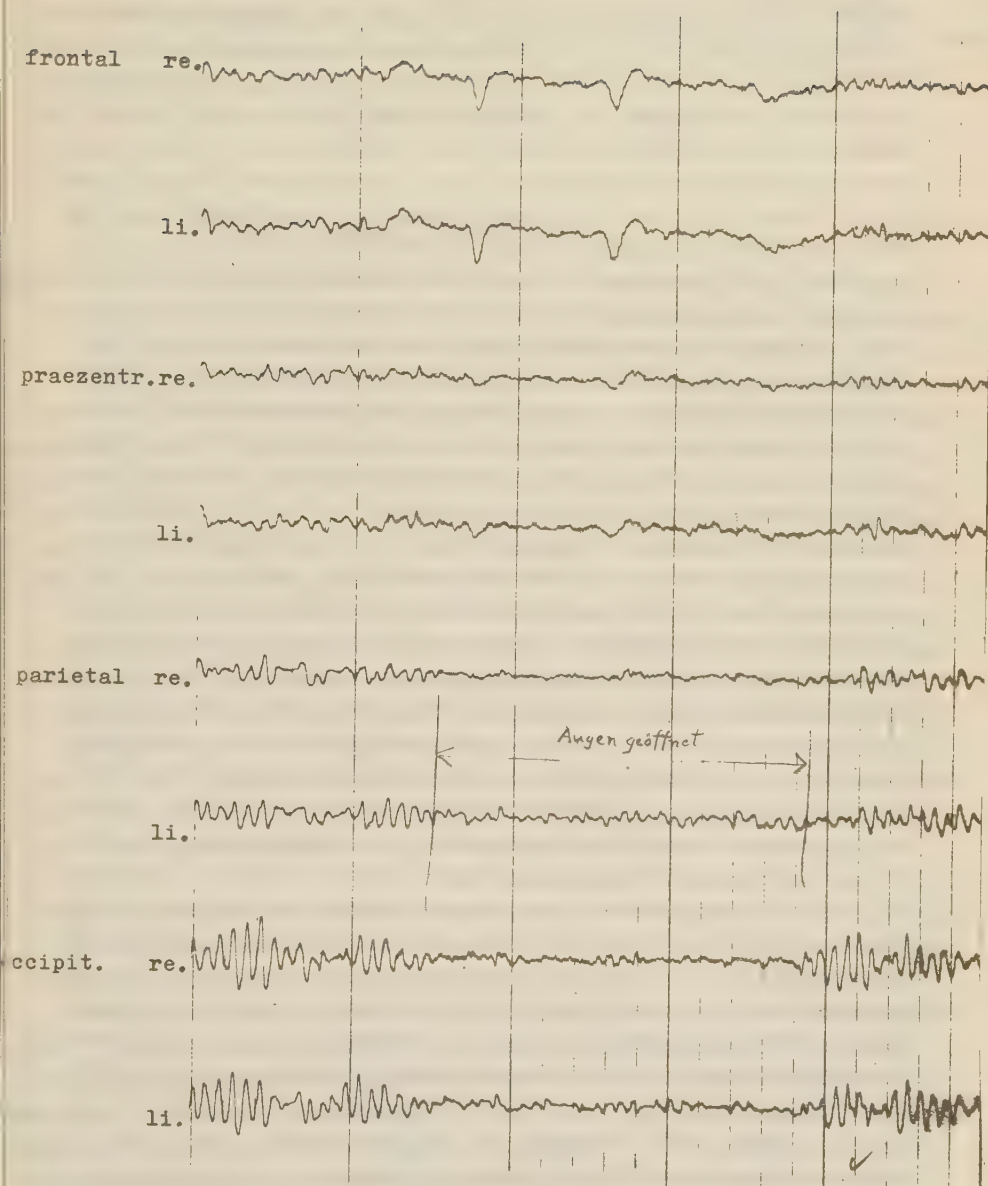
2 1/2 Minuten später:

Mässig tiefer Schlaf. Zurüchtreten der Schlafspindeln und Erscheinen unregelmässiger, hochamplitudiger, langsamer Delta-Gruppen (Stadium C-D).

mer wieder von der Alpha-Aktivität abgelöst werden, die sich mit der Zeit aber ausdehnen, bis schließlich die Alpha-Aktivität vollständig wegfällt und die Kurve fast flach erscheint, wobei vermehrt grundliniennahe langsamere Potentialschwankungen aus dem Theta-Bereich eingestreut werden (Stadium B). Dieser Wechsel in der elektroencephalographischen Aktivität entspricht dem Pendeln zwischen kurzen Schlafphasen und erneutem Wachsein, welches meist dem endgültigen Übergang in den Leichtschlaf vorausgeht. Die Phase der durchgehend niedrigen Spannungsproduktion wird nach einiger Zeit durch das Auftreten der ersten "Schlaf-Spindeln" beendet (Stadium C). Diese Schlaf-Spindeln sind Gruppen von Wellen mit Frequenzen von 12-16/sec., die in Abständen vorwiegend frontal und präzentral in der sonst flachen Kurve erscheinen und die häufig durch ein gleichmässiges An- und Abschwollen der Amplituden innerhalb der einzelnen Wellengruppe eine spindelähnliche Form bilden. Das weitere Fortschreiten der Schlaftiefe zeigt sich elektroencephalographisch in dem Erscheinen langsamer, hochamplitudiger Wellen an, wobei die Schlaf-Spindeln zunächst noch weiter auftreten können (Stadium D); noch später wird die Kurve dann von hochamplitudigen Wellen mit langsamen Theta-Frequenzen beherrscht, die in unregelmässigen Folgen erscheinen (Stadium E).

Weckreize, wie etwa Geräusche, haben je nach der Schlafphase eine verschiedene Wirkung auf das EEG (vgl. SIMON und EMMONS 1956). Unmittelbar nach dem Aufwachen läßt sich oft noch für einige Zeit ein besonders gut ausgeprägter Alpha-Rhythmus beobachten.

Bei Abweichungen von der mittleren Bewußtseinslage des entspannten Wachzustandes nach der Seite einer erhöhten Wachheit zeigt sich, wie schon gesagt, im EEG immer eine Frequenzbeschleunigung. Allein das Öffnen der Augen genügt ja schon, um den Alpha-Rhythmus für die Dauer einiger Sekunden verschwinden und an seine Stelle schnelle Aktivität niedriger Amplituden treten zu lassen. Dabei ist es nicht die Lichteinwirkung als solche, die diesen Effekt hervorbringt, da er sich z.B. beim Öffnen der Augen in einem dunklen Raum in gleicher Weise beobachten läßt (OSTOW 1950); vielmehr scheint die bloße Erwartung oder der Versuch, etwas zu sehen, dabei eine ausschlaggebende Rolle zu spielen (ADRIAN und MATTHEWS 1934). Geistige Anstrengung oder Konzentration, etwa beim Lösen einer Aufgabe, gehen ebenfalls mit einer Blockierung des Alpha-Rhythmus einher. Wenn die Vp. unter der Ableitung ei-



Blockierung des Alpha-Rhythmus bei Augenöffnen.
 Kurvenausschnitt von 5 sec.; die Gesamtzeit einer
 Routineableitung beträgt durchschnittl. 10-15 Min.

nem Gespräch folgen muß oder wenn ihr vorgelesen wird, kommt es dagegen nicht zum völligen Verschwinden des Alpha-Rhythmus. Jedoch erscheinen die in der Standardableitung vorkommenden längeren Folgen von Alpha-Wellen jetzt weniger häufig, und die durchschnittliche Frequenz des Alpha-Rhythmus zeigt einen Anstieg um etwa 0,5/sec. (TRAVIS und EGAN 1938). Wenn die Vp. einen Text lesen und noch mehr, wenn sie ihn laut vorlesen muß, ergibt sich ein weiterer Anstieg der Alpha-Frequenz. Es läßt sich also sagen, daß differenziertere geistige Betätigung mit höheren Frequenzen im EEG einhergeht. Die EEG-Veränderungen hängen dabei aber nicht mit der qualitativen Seite der geistigen Aktivität zusammen, sondern das, was sich in der Frequenzbeschleunigung ausdrückt, scheint vielmehr der Grad der Aufmerksamkeit zu sein, mit dem der jeweilige psychische Vorgang verbunden ist. Das Hören und Lesen eines einfachen Textes, das noch mit einem gewissen Maß an geistiger Entspannung verbunden sein kann, bringt nur eine leichte Beschleunigung des Alpha-Rhythmus mit sich, während bei Aufgaben, die stärkere Konzentration erfordern, anstelle des Alpha-Rhythmus, der ja ein "Ruherhythmus" ist, schnelle Wellen mit niedrigen Amplituden treten. Auch bei optischen Wahrnehmungen zeigt sich diese Wirkung im EEG, und zwar besonders dann, wenn diese mit einer aktiven Aufmerksamkeitszuwendung verbunden sind. Zusammenfassend läßt sich sagen: Veränderungen der Bewußtseinslage drücken sich meistens in entsprechenden EEG-Veränderungen aus. So wie ein höherer Grad an Bewußtseinsklarheit sich in einer Beschleunigung der EEG-Frequenzen (innerhalb bestimmter Grenzen) anzeigt, drückt sich umgekehrt ein Nachlassen der Wachheit in einer Frequenzverlangsamung aus.

Die Beziehungen zwischen elektroencephalographischen Erscheinungen und Bewußtseinslage sind allerdings nicht durchgängig. Es gibt auch Fälle, wo bei Bewußtseinsstörungen ein normaler Alpha-Rhythmus weiterbesteht, und solche, in denen trotz Verlangsamung im EEG das Bewußtsein klar ist (DUENSING 1949, GASTAUT 1954). Wie DUENSING sagt, besteht zwischen Bewußtseinsgrad und EEG zwar nicht eine feste, wohl aber eine statistische Korrelation, was wahrscheinlich daraus zu erklären ist, dass im EEG nicht die differenzierte Tätigkeit einzelner Neuronen, sondern die gemeinsame elektrische Aktivität großer Komplexe von Nervenzellen erfaßt wird, da jede einzelne Elektrode die elektrische Tätigkeit von etwa 176 400 000 Ganglienzellen registriert. "Da die neurophysiologi-

sche Basis der Bewußtseinslage das ganze intracerebrale Erregungsgeschehen sein muß, so ist die Korrelation mit dem EEG, welches im wesentlichen die gemeinsame Tätigkeit vieler Rindenzellen anzeigt, begreiflich" ¹⁾

3. Die Entwicklung des EEG beim Kind.

Schon beim menschlichen Foetus sind Anzeichen einer elektrischen Hirnaktivität vorhanden, wie Untersuchungen an Frühgeburten vom 5. Monat ab gezeigt haben (DREYFUS-BRISAC u. BLANC 1956). Es handelt sich vorwiegend um langsame, unregelmässige und flache Potentialschwankungen mit einer Frequenz von 1-3/sec. und gelegentlich auftretende Gruppen von 10-13/sec. Wellen. Vom 8. Monat ab sieht das EEG im Großen und Ganzen schon so aus wie bei voll ausgetragenen Kindern: Es zeigt auf allen Ableitungen unregelmässig auftretende flache Potentialschwankungen mit Frequenzen zwischen 2 und 5/sec. In den ersten drei Monaten nach der Geburt nehmen die Amplitudenhöhen allmählich etwas zu und es macht sich eine gewisse Rhythmisierung bemerkbar. (KELLAWAY 1957). Gegen Ende des dritten Monats zeichnen sich wichtige Veränderungen im EEG ab: die Ableitungen von den verschiedenen Hirnregionen sind nun nicht mehr alle gleichförmig, sondern es kommt jetzt zu einer ersten Differenzierung. In den occipitalen Bereichen sieht man erstmalig eine rhythmische Aktivität von 3-4/sec. und etwa 75 Mikrovolt, die bei Augenöffnen und durch sensorische Reizung schon manchmal blockiert werden kann. Es scheint sich also um die kindliche Vorstufe des Alpha-Rhythmus der Erwachsenen zu handeln. Das Erscheinen dieses occipitalen Rhythmus beim drei Monate alten Kind steht möglicherweise in einem Zusammenhang mit der ebenfalls zu diesem Zeitpunkt einsetzenden Fähigkeit, integrierte Wahrnehmungsakte zu vollziehen (LINDSLEY 1953). Beim fünf Monate alten Kind läßt sich eine weitere Stabilisierung des occipitalen Grundrhythmus, der jetzt eine Frequenz von 5-6/sec. hat, beobachten. Vom neurologischen Standpunkt aus gesehen drückt sich in der elektroencephalographischen Entwicklung des frühen Kindesalters eine

1) DUENSING, F., Das Elektroencephalogramm bei Störungen der Bewußtseinslage

zunehmende Differenzierung der Hirnrindenfunktionen und damit auch eine immer stärker werdende Kontrolle über subcorticale Strukturen aus (vgl. DREYFUS-BRISAC und BLANC).

In den ersten 1 1/2 Jahren dominiert die Delta-Aktivität im Gesamtbild der Kurve, während die Aktivität mit Theta-Frequenzen einstweilen "subdominant" bleibt (GARSCHKE 1954). Allmählich nimmt dann die Delta-Aktivität ab, um etwa im 18. Lebensmonat des Kindes gegenüber der Theta-Aktivität zurückzutreten; nur in den frontalen Bereichen lassen sich nach diesem Zeitpunkt noch Delta-Wellen beobachten, die in der Regel im 5. oder 6. Jahr verschwinden.

Die Theta-Aktivität, die im Kleinkindesalter das Hirnstrombild beherrscht, spricht auf emotionale Reize an, z.B. auf Freude, Lachen, Weinen, Gier nach einer Süßigkeit, wie überhaupt alle abrupten Veränderungen der Affektlage eine Veränderung der Theta-Aktivität (meistens im Sinne einer Verstärkung) mit sich bringen. Allerdings beobachtet man hier ausgeprägte individuelle Unterschiede: bei manchen Kindern reagiert die Theta-Aktivität auf alle affektiven Veränderungen, während andere Kinder nur bei angenehmen, wieder andere nur bei unangenehmen Erlebnissen die entsprechenden Erscheinungen im EEG zeigen (GREY WALTER 1950).

Der occipitale Rhythmus erreicht im 3. bis 4. Lebensjahr Durchschnittswerte um 7/sec.; nach und nach erscheinen in den occipitalen Ableitungen auch schon Wellen mit Alpha-Frequenzen (zunächst 8-9/sec.), die anfänglich noch unregelmässig und schlecht sichtbar zwischen die langsameren Wellenfolgen eingelagert sind, allmählich aber einen breiteren Raum innerhalb der Gesamtableitung einnehmen. Im 6. bis 10. Lebensjahr wird die Alpha-Aktivität, deren Durchschnittswerte nun bis auf 10/sec. ansteigen, zur dominierenden Aktivität. Gegenüber dem Erwachsenen-EEG erscheinen die Kurven dieser Altersstufe aber noch unregelmässig und labil: Frequenz und Amplitudenhöhe der Alpha-Aktivität sind, innerhalb gewisser Grenzen, noch Schwankungen unterworfen, und es tritt noch Theta-Aktivität, vorwiegend über den mittleren und vorderen Hirnabschnitten, auf. Nach dem 10. Jahr gleicht das Elektroencephalogramm des Kindes weitgehend dem des Erwachsenen: die Alpha-Frequenz bleibt individuell konstant, die Theta-Aktivität verschwindet weitgehend, und über den vorderen Hirnabschnitten können Beta-Wellen erscheinen.

Als Zusammenfassung kann uns Garsches Einteilung der Entwicklungsstufen nach den jeweils vorherrschenden Frequenzbereichen dienen:

1. Periode (bis zum 18. Lebensmonat): Dominanz der Delta-Aktivität.

2. Periode (vom 18. Monat bis zum 5. Lebensjahr): Dominanz der Theta-Aktivität.
3. Periode (6. bis 10. Lebensjahr): Dominanz der Alpha-Aktivität, labile Phase.
4. Periode (ab 10. Lebensjahr): Dominanz der Alpha-Aktivität, stabile Phase.

Während der Pubertätszeit kann es vorübergehend noch einmal zu einer Dysrhythmisierung des EEG mit vermehrtem Auftreten von Theta-Wellen kommen. Nach dem 20. Jahr verändert sich das EEG in der Regel nicht mehr bis zum Greisenalter. Nach dem 60. Jahr können sich Verlangsamungstendenzen bemerkbar machen, sodaß sich das Greisen-EEG wieder dem Kinder-EEG annähert (GIBBS u. GIBBS 1950).

Die Altersangaben in dem soeben geschilderten Entwicklungsverlauf sind als Durchschnittswerte zu betrachten; in Wirklichkeit besteht innerhalb jeder Altersgruppe eine große individuelle Variabilität in Bezug auf den schon erreichten Entwicklungsstand des EEG.

Ausserdem ist dem kindlichen EEG eine starke Labilität eigen. Es spricht auf Reize aller Art viel heftiger an als das Erwachsenen-EEG und zeigt dann oft so starke Veränderungen, wie sie im gleichen Ausmaß bei einem Erwachsenen schon als pathologisch zu werten wären. Bei besonders starken Belastungen kann es zu einer Regression auf die vorangegangene elektroencephalographische Entwicklungsstufe kommen (GARSCHKE). Aus dieser Variabilität und Labilität des Kinder-EEG ergeben sich besondere Schwierigkeiten bei der Begutachtung. Bisher hat man keine einheitlichen Kriterien für das, was in jeder einzelnen Altersstufe noch als normal gelten kann.

Eine Gegenüberstellung der elektroencephalographischen Eigenheiten bestimmter Altersklassen mit den psychologischen Besonderheiten der entsprechenden Entwicklungsstufen hat bisher keine eindeutigen Zusammenhänge aufgedeckt. Es ist jedoch anzunehmen, daß eine Beziehung allgemeiner Art zwischen der Entwicklung der hirnelektrischen Aktivität und der zunehmenden Differenzierung der psychischen Funktionen besteht.

Die diffusen, ungeordneten Wellenfolgen der ersten Lebensmonate, die noch keine Unterscheidung von Wach- und Schlafzustand erkennen lassen, werden von der ersten rhythmischen Aktivität etwa zu

dem Zeitpunkt abgelöst, an dem die statischen Funktionen sich soweit entwickelt haben, dass die oculomotorische Koordination und die willkürliche Kontrolle der Kopfhaltung möglich ist (DREYFUS-BRISAC u. BLANC). Des weiteren nimmt man, wie schon erwähnt, einen Zusammenhang zwischen dem ersten Auftreten eines occipitalen Rhythmus und der beim drei Monate alten Kind einsetzenden Fähigkeit zum "corticalen Sehen" an (GARSCHÉ, LINDSLEY). Zwischen dem Dominieren der Theta-Aktivität bei den 2-5-jährigen Kindern und der vorwiegend emotional bestimmten Erlebnisweise dieser Altersstufe könnte ebenfalls eine Beziehung bestehen (GREY WALTER); weiterhin vielleicht auch zwischen der Stabilisierung des Alpha-Rhythmus - wie der elektroencephalographischen Aktivität insgesamt - im späten Kindesalter und dem relativ harmonischen psychischen Gesamtbild dieser Stufe, sowie zwischen der manchmal erneut auftretenden elektroencephalographischen Labilität und der psychischen Unausgeglichenheit der Pubertätsjahre.

Das wichtigste Charakteristikum für die Entwicklung des Hirnstrombildes von der Geburt bis zum Alter von etwa 10 Jahren ist das Anwachsen der Frequenzen, und damit verbunden das allmähliche Abnehmen der langsamen Wellen. Wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben, geht eine Verlangsamung der Frequenzen in der Regel mit einer Herabsetzung der Bewußtseinsklarheit einher, eine Beschleunigung dagegen mit einer Steigerung des Wachheitsgrades. Die allmähliche Zunahme der Frequenzen mit fortschreitendem Alter des Kindes läßt sich vielleicht ebenfalls in Verbindung mit der Entwicklung und der Stabilisierung der Bewußtseinsfunktion bringen, die sich in der geistig-seelischen Entwicklung des Kindes zeigt. Alle diese vermuteten Zusammenhänge sind nun aber ganz gewiß nicht kausaler Art, etwa so, daß die psychischen Besonderheiten einer Altersstufe durch die hirnelektrische Aktivität bedingt wären, oder umgekehrt. Jedoch ist es "nicht zu übersehen, daß die Entwicklung des kindlichen Hirnpotentialbildes p a r a l l e l der funktionalen Differenzierung verläuft und daß die jeweilige Wellenzusammensetzung und deren topographische Verteilung Ausdruck der zunehmenden Koordination verschiedener Funktionsstrukturen des Gehirns sind." ¹⁾

Diese Parallelität dürfte wohl darin begründet sein, daß beide

1)

GARSCHÉ, E., a.a.O., S.889.

Phänomene - die Entwicklung des kindlichen Elektroencephalogramms und die psychische Entwicklung - in einem hohen Maß von den anatomisch-physiologischen Hirnreifungsvorgängen sowie von anderen körperlichen Reifungsfaktoren abhängig sind. Dadurch wird gleichzeitig erklärt, warum zwischen den elektroencephalographischen und den psychologischen Entwicklungsmerkmalen nicht eine genauere Entsprechung, sondern nur eine solche allgemeiner Art gefunden werden kann.

frontal

re.

li.

praezent. re.

li.

parietal

re.

li.

occipit.

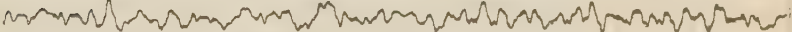
re.

li.

EEG eines 5-jährigen Jungen. Gering ausgeprägte Alpha-Aktivität von 8/sec. im Bereich der hinteren Hirnregionen. Besonders über den vorderen und mittleren Hirnregionen unregelmässige Theta-Wellen als dominante Aktivität.

frontal re. 

li. 

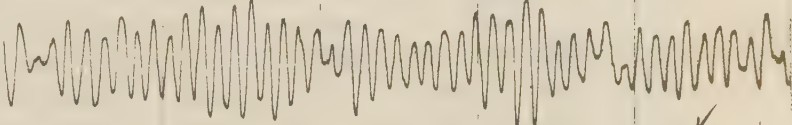
praezentral re. 

li. 

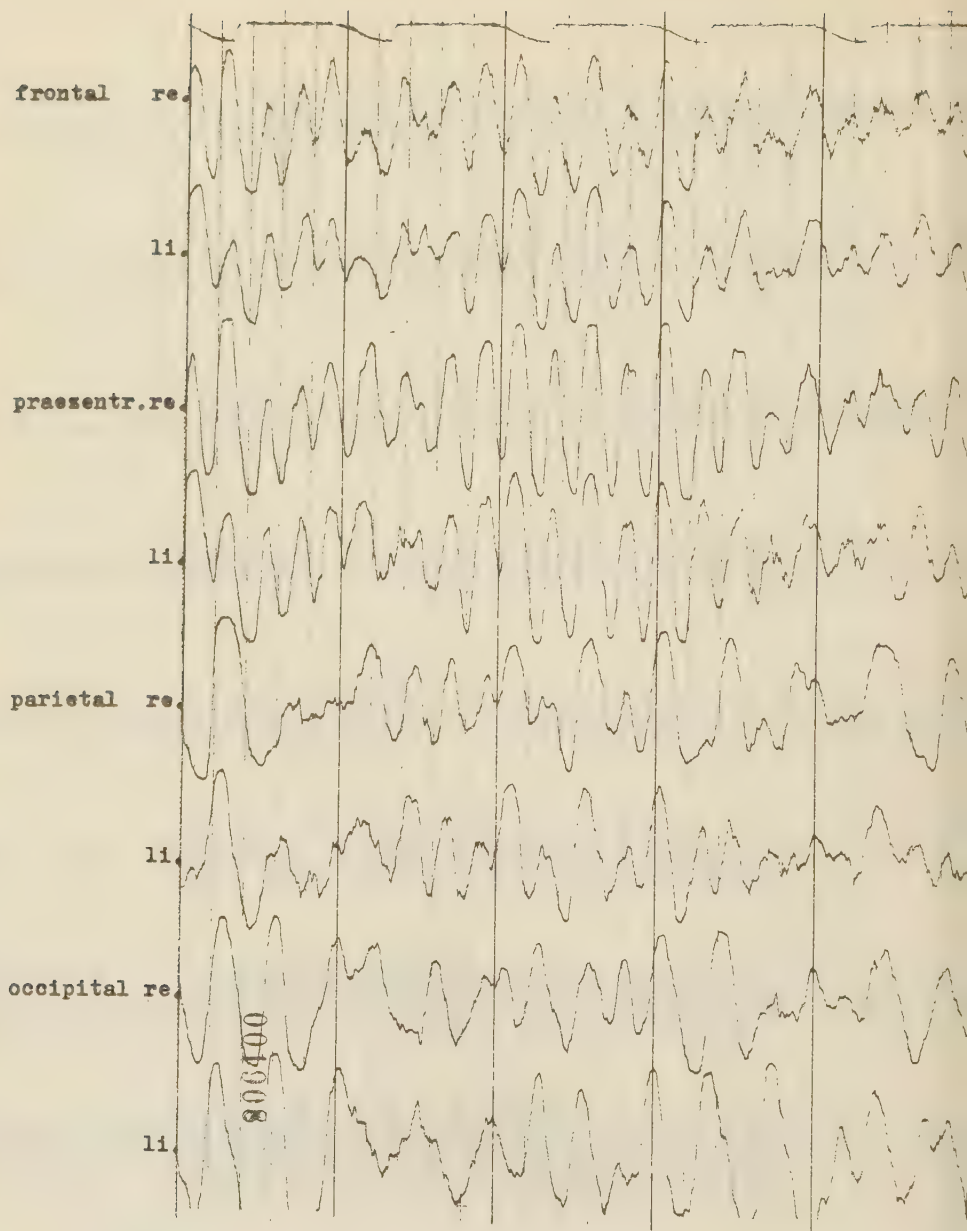
parietal re. 

li. 

occipit. re. 

li. 

EEG eines 10-jährigen Jungen. Gut ausgeprägter, amplitudenhoher, occipital dominierender Alpha-Rhythmus von 10/sec. Subdominante Theta-Aktivität im Bereich der vorderen Hirnregionen.



Einschlafaktivität bei einem 4-jährigen Mädchen.
 Amplitudenhohe synchrone 4-5/sec. Theta-Gruppen
 praезentraler Dominanz. Unregelmässige 3-5/sec.-Ab-
 läufe über den parietalen und occipitalen Hirnab-
 schnitten.

Kapitel III

DAS PATHOLOGISCHE EEG

Gegenüber den verschiedenen Formen des normalen Hirnstrombildes heben sich die pathologischen Erscheinungen ab. Man kann hier unterscheiden zwischen Kurven, die in ihrem Gesamtbild verändert sind, und solchen, bei denen die pathologischen Veränderungen auf eine bestimmte Hirnregion begrenzt sind. In den Abschnitten 1 und 2 dieses Kapitels sollen diese "Allgemeinveränderungen" und "Herdveränderungen" kurz gestreift werden, während der 3. Abschnitt die Hauptformen der Anfallsleiden und ihre elektroencephalographischen Erscheinungsformen etwas ausführlicher behandeln wird.

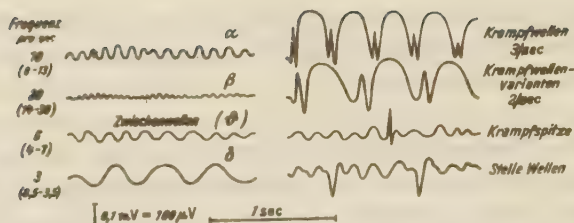
1. Die Allgemeinveränderungen des EEG.

Als **A l l g e m e i n v e r ä n d e r u n g** im engeren Sinn bezeichnet man im deutschen Sprachgebrauch eine allgemeine abnorme Frequenzverlangsamung. Für diagnostische Zwecke unterscheidet man je nach dem Grad der Verlangsamung zwischen leichter, mässiger und schwerer Allgemeinveränderung. (Es wird hier, wie auch im folgenden Abschnitt, die Einteilung der pathologischen Erscheinungen von R. JUNG zugrundegelegt).

Die leichte Allgemeinveränderung, die hauptsächlich durch eine vermehrte Theta-Einstreuung in einen unregelmässigen Alpha-Rhythmus gekennzeichnet ist, stellt einen Grenzbefund dar, wie er beispielsweise bei stark vegetativ-labilen Personen vorliegen kann.

Von einer mässigen Allgemeinveränderung spricht man, wenn eine Verlangsamung des Grundrhythmus auf 7-8/sec. vorliegt und/oder wenn Theta-Wellen von 4-7/sec. vorherrschen. Dies ist bei Erwachsenen immer ein pathologischer Befund, wie er bei hirnnorganischen Erkrankungen oder bei Epilepsien vorkommt.

Bei einer schweren Allgemeinveränderung ist die EEG-Kurve vorwiegend durch Delta-Wellen gekennzeichnet; auch Theta-Wellen können auftreten. Alpha-Wellen dagegen sind selten oder gar nicht zu sehen. Vergleichbare Bilder bei gesunden Erwachsenen findet man nur im Tiefschlaf. Im Wachzustand sind solche Verlangsamungserscheinungen als pathologisch zu werten; sie treten auf bei ausgeprägten hirnnorganischen Störungen, beispielsweise in comatösen Zuständen, bei intracerebraler Drucksteigerung und bei diffusen entzündli-



Die Hauptformen des EEG.

Links die verschiedenen Wellenarten, die bei Gesunden im Wach- und Schlafzustand vorkommen können. Im Wachzustand sind normalerweise nur Alpha- und Beta-Wellen erkennbar. Deutliche langsame Delta-Wellen finden sich nur bei Kindern und im Schlaf. Wenn sie beim Erwachsenen im Wach-EEG vorkommen, sind sie meistens Zeichen einer Hirnerkrankung. Zwischenwellen von 4-7/sec. können gelegentlich auch beim gesunden Erwachsenen in der Ermüdung beobachtet werden.

Rechts die Krampfpotentiale, die vor allem bei Epilepsie vorkommen. Krampfwellen von 3/sec. (spike and wave, petit mal) mit Abfolge von raschen und langsamen Abläufen mit grosser Amplitude bis 1 mV sind charakteristisch für genuine Epilepsie im jüngeren Alter mit kleinen Anfällen und für Pyknolepsie. Krampfwellenvarianten von 2/sec. (petit mal variant) finden sich vor allem bei residualer Epilepsie. Einzelne Krampfspitzen (spikes) kommen über epileptischen Foci vor allem bei symptomatischer Epilepsie vor. Steile Wellen (sharp waves) finden sich sowohl bei genuiner wie bei symptomatischer Epilepsie, besonders temporal. Sie sind ebenso wie die paroxysmale Dysrhythmie charakteristisch für Dämmeranfälle (psychomotorische Anfälle).

(aus R. JUNG, Neurophysiologische Untersuchungsmethoden, im Handbuch der inneren Medizin, S. 1229).

chen Prozessen.

Von einer *D y s r h y t h m i e* spricht man, wenn das EEG eine abnorm gesteigerte Frequenzvariation zeigt. Die Bezeichnung Dysrhythmie wird dabei nach dem in Deutschland üblichen Sprachgebrauch vor allem für jene Kurvenbilder verwendet, bei denen sich diese abnorme Frequenzvariation auf den langsamen Anteil des Frequenzspektrums, d.h. den Theta- und Delta-Bereich, erstreckt. Derartige Dysrhythmien finden sich besonders bei Epileptikern, häufig in Verbindung mit paroxysmalen Wellenformen.

Erstreckt sich die abnorme Frequenzvariation vor allem in den schnelleren Frequenzbereich (Beta-Bereich), so spricht man von *F r e q u e n z l a b i l i t ä t*. Derartige Kurvenbilder werden bei verschiedenartigen zentralnervösen Störungen beobachtet.

2. Die Herdveränderungen des EEG.

Wie schon erwähnt wurde, spricht man von elektroencephalographischen Herdveränderungen immer dann, wenn innerhalb der Gesamtableitung die Einzelableitungen bestimmter Hirnabschnitte irgendwelche Auffälligkeiten zeigen. Solche Veränderungen finden sich bei hirnllokalen Störungen. Sie können sich in einer focalen Alpha-Verminderung oder -Aktivierung äussern oder in einer focalen Aktivität von Theta-, Delta- oder Krampfpotentialen. Die genannten Störungen sind für die Klinik von lokaldiagnostischem Interesse. Auf die Bedeutung focal angeordneter Krampfpotentiale, besonders im Bereich der Temporalregion, soll im folgenden Kapitel eingegangen werden.

3. Das EEG bei Epilepsien.

Das EEG hat viel zur besseren Kenntnis der Epilepsien beigetragen. Es ermöglicht in vielen Fällen eine Diagnose selbst dann, wenn gerade keine klinisch erkennbaren Anfälle vorliegen, da sich häufig auch in den anfallsfreien Intervallen EEG-Veränderungen beobachten lassen.

Vom klinisch-elektroencephalographischen Gesichtspunkt aus ergeben sich drei Hauptformen der Epilepsie, von denen die ersten zwei die sogenannte Grand Mal- und Petit Mal-Epilepsie darstellen. Die dritte Epilepsieform ist die sogenannte psychomotorische oder temporale Epilepsie, die erst mit Hilfe der Elektroencephalographie

als selbständiges Krankheitsbild herausgestellt werden konnte.

Grand Mal-Epilepsie. Die vorherrschende Äusserungsform der Grand Mal-Epilepsie ist der klassische generalisierte epileptische Anfall mit tonisch-klonischen Krämpfen. Der Anfall beginnt mit einem generalisierten tonischen Krampf; der Patient verliert dabei das Bewußtsein und stürzt zu Boden. Nach einigen Sekunden setzt ein feiner Tremor ein, der den Übergang zur klonischen Phase bildet, in der heftig einschliessende Zuckungen mit völliger Muskelentspannung abwechseln. Nach Aufhören der Zuckungen verfällt der Patient in einen comatösen Zustand, um dann entweder allmählich wieder zum Bewußtsein zu erwachen oder in längeren Schlaf zu verfallen.

Elektroencephalographisch äussert sich der Anfall in Entladungen, die generalisiert und symmetrisch über beiden Hemisphären auftreten. Charakteristisch für die tonische Phase sind rhythmisierte schnelle Spitzenpotentiale über allen Ableitpunkten ("Krampfspitzen"). In der klonischen Phase treten die Krampfspitzen meist nur während der Zuckungen auf und verbinden sich mit grossen langsamen Wellen, die im comatösen Erschöpfungsstadium das Bild beherrschen. Der Anfall selbst kann übrigens nur selten und unter speziellen Versuchsbedingungen abgeleitet werden (etwa unter Curare), da im allgemeinen die Ableitung durch Bewegungs- und Muskelartefakte gestört wird. Aber auch in den anfallsfreien Intervallen zeigen sich häufig elektroencephalographische Allgemeinveränderungen verschiedenen Grades und dysrhythmische Störungen, teilweise von paroxysmalem Charakter.

Die beiden anderen Formen sollen etwas ausführlicher behandelt werden, da eine Kenntnis ihrer klinischen Symptome (und der diagnostischen Möglichkeiten des EEG) für die psychologische Praxis von Bedeutung ist. Es kommt ja z.B. häufig vor, daß Kinder wegen angeblicher Schwererziehbarkeit zur Beratung gebracht werden, bei denen in Wirklichkeit ein unerkanntes Anfallsleiden dieser Art vorliegt.

Petit Mal-Epilepsie. Das Hauptmerkmal der Petit Mal-Anfälle sind kurze, Sekunden dauernde Bewußtseinseinbrüche; der Bewegungsablauf wird oft jäh unterbrochen, die Augen sind starr geradeaus gerichtet oder nach oben verdreht. In manchen Fällen lässt sich bei genauer Beobachtung ein ganz leichtes Zucken der Augenlider, bisweilen auch der Körpermuskulatur, feststellen. Der Anfall hört

meist ebenso abrupt auf, wie er eingesetzt hat: der Patient führt die Bewegung fort, in der er stehengeblieben war oder spricht den angefangenen Satz zu Ende, als ob nichts geschehen wäre. Nicht in allen Fällen sind die Symptome des Petit Mal-Anfalles so ausgeprägt, daß sie dem Beobachter ohne weiteres auffallen; etwa dann, wenn diese Zustände sehr kurz sind, oder wenn der Bewußtseinsverlust nicht vollständig ist. Automatische Bewegungen werden dabei weitergeführt, zielgerichtete Bewegungsabläufe können für die Dauer des Anfalls von Stereotypen abgelöst werden. Die Bewußtseinsstörung kann partiell sein und sich nur auf bestimmte Sektoren erstrecken. Der Patient kann dann zwar wahrnehmen, was um ihn herum vorgeht, aber für einen kurzen Augenblick kann er weder einen Gedankenablauf weiterführen noch eine willkürliche Bewegung machen. In leichteren Fällen wird die Bewußtseinsstörung von dem Betroffenen wie von der Umgebung vielleicht nur als Konzentrationsstörung und plötzliche Zerstretheit gewertet. Diese Zustände können so rasch vorübergehen, daß sie sich der bloßen Beobachtung entziehen und nur durch Reaktionszeitprüfungen oder dergleichen festzustellen sind. Es gibt Fälle, bei denen nur die visuell-assoziativen Funktionen beeinträchtigt werden: der Patient sieht dann zwar alles, ist für die Dauer des Anfalles aber nicht imstande, die Bedeutung des Gesehenen zu begreifen. Dies kann bei manchen Kindern die eigentliche Ursache von Leseschwierigkeiten sein.

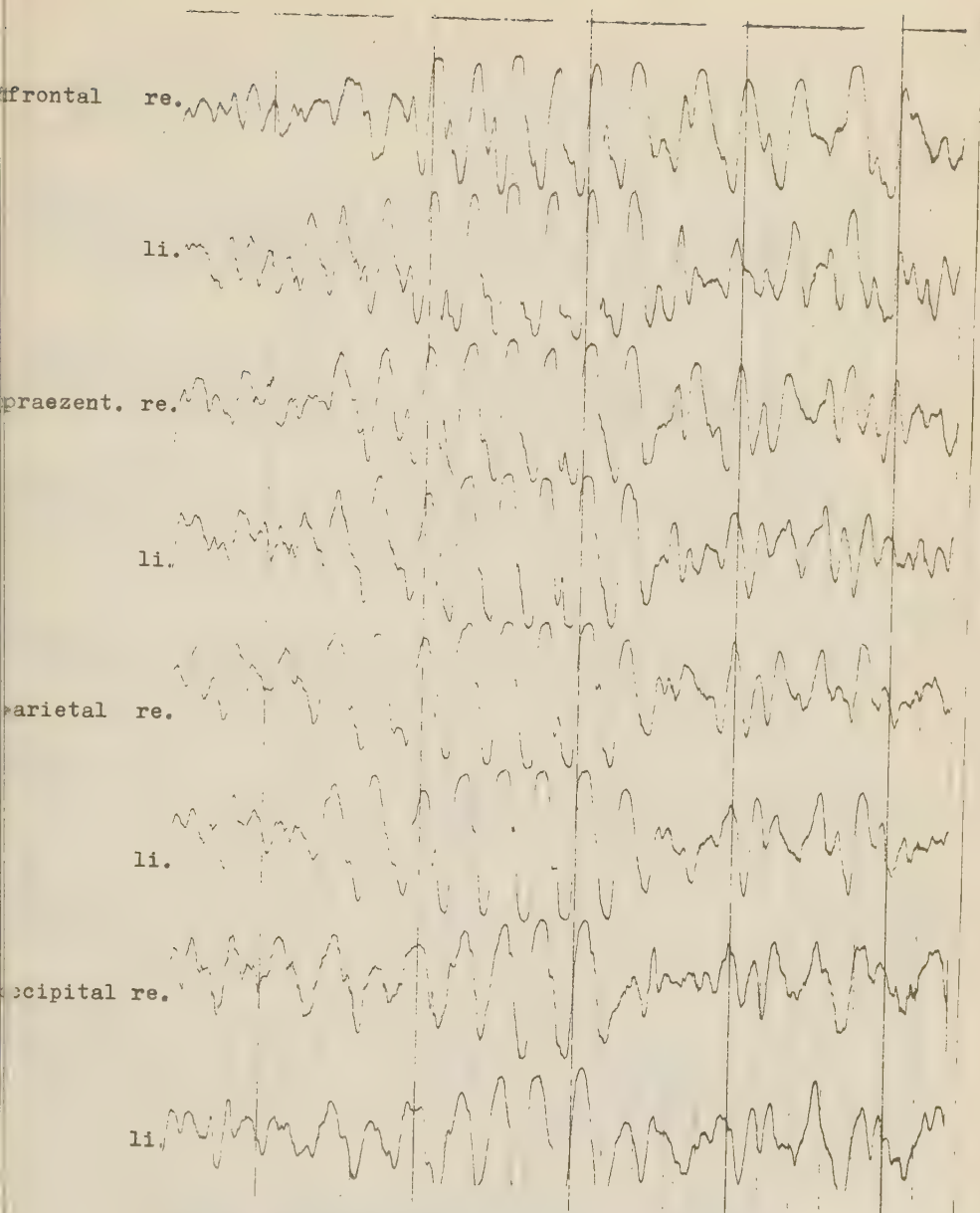
Die elektroencephalographischen Merkmale des Petit Mal-Anfalles sind die sogenannten Spikes-and-Waves-Komplexe ("Krampfwellen"), die aus streng aneinandergesetzten Spitzen und langsamen Wellen gebildet werden und mit einer Frequenz von 3/sec. auftreten. Zeigen diese Entladungen eine langsamere oder schnellere Frequenz, so handelt es sich um sogenannte Petit Mal-Varianten. Diese kommen häufig bei Epilepsieformen nach frühkindlicher Hirnschädigung (Residual-Epilepsie), meist mit focaler Betonung, vor.

Psychomotorische Epilepsie. Es hat sich gezeigt, daß manche klinischen Symptome, welche den sogenannten epileptischen Äquivalenten, bestimmten Aura-Erscheinungen und atypischen Absenzen entsprechen, häufig mit charakteristischen elektroencephalographischen Manifestationen besonderer Art einhergehen. Das sich ergebende klinisch-elektroencephalographische Syndrom wird unter der Bezeichnung "Psychomotorische Epilepsie" oder "Tempo-

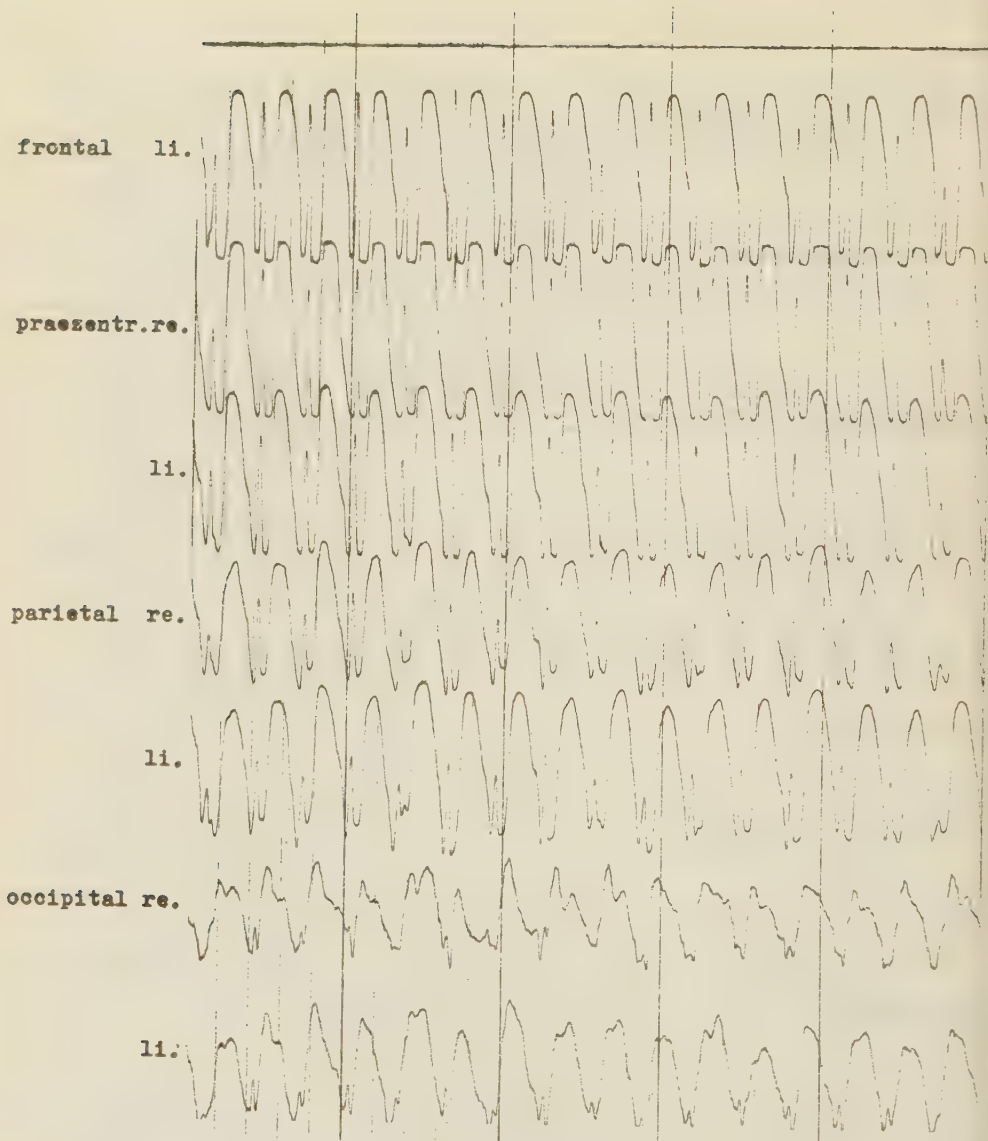
ral-Epilepsie" als eine Sonderform von den anderen Epilepsien abgehoben. Im Vordergrund des klinischen Anfallsgeschehens stehen hierbei neben einer meist dämmerartigen Bewußtseinsstörung verschieden gestufter Intensität vielgestaltige und häufig komplexe Symptome vegetativer, affektiver, psychosensorischer und psychomotorischer Art. Dazu gehören beispielsweise zentral-vegetative Erscheinungen wie Hunger- und Durstkrisen, Störungen der Herz-, Atem- und Magen-Darmtätigkeit, psychosensorische Erscheinungen wie olfaktorische, gustatorische, akustische und visuelle Halluzinationen, psychomotorische Erscheinungen wie komplexe automatische Bewegungsabläufe, affektive Krisen wie Angst- und Wutzustände, sowie dranghafte Verhaltensweisen primitiv-instinktiver Färbung, beispielsweise im sexuellen Bereich. Alle diese Symptome können einzeln oder in den verschiedensten Kombinationen auftreten, sodaß sich ein großer Reichtum an Äusserungen dieses Anfallsgeschehens ergibt. Es sei noch darauf hingewiesen, daß es sich beispielsweise auch in Impulshandlungen krimineller Art oder in scheinbar hysteriformen oder psychopathischen Verhaltensweisen manifestieren kann.

Elektroencephalographisch zeigen sich bei diesem Anfallsgeschehen im Bereich der Temporalregionen lokalisierte Krampfpotentiale und dysrhythmische Abläufe, die sich im Anfall selbst mehr oder minder generalisieren können. Im anfallsfreien Intervall gelingt der Nachweis einer temporalen Epilepsie durch die Auffindung herdförmiger Störungen

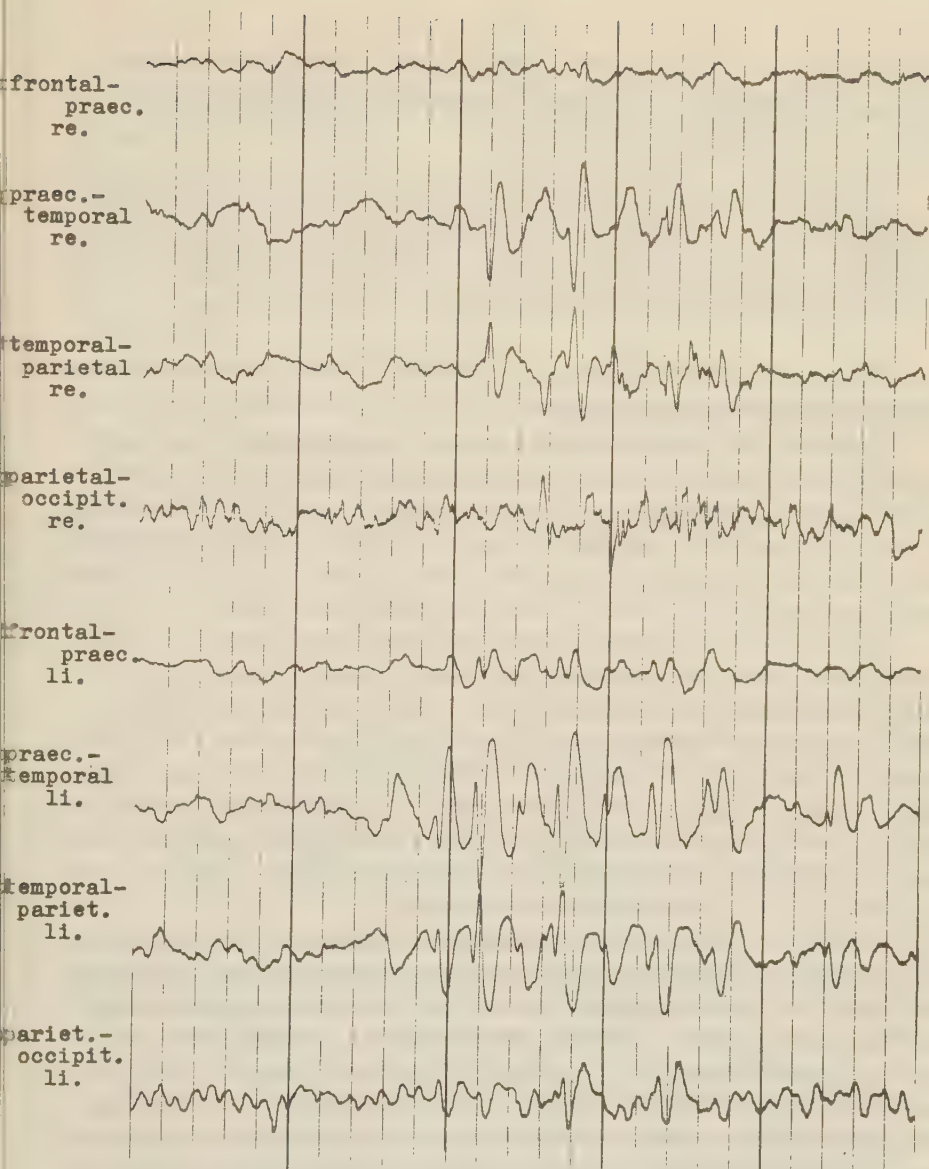
Abschliessend ist zu sagen, daß die genannten Epilepsieformen keine streng zu trennenden nosologischen Einheiten, sondern lediglich Prägnanz-Typen des epileptischen Geschehens darstellen. Die verschiedenen Anfallsformen können sich miteinander kombinieren oder auch im Laufe der Entwicklung gegenseitig ablösen. EEG-Befund und klinischer Befund stimmen daher auch nicht immer überein, sondern es liegt im wesentlichen eine statistische Korrelation zwischen bestimmten elektroencephalographischen Merkmalen und dem klinischen Typ der Anfälle vor. Auch läßt sich durch einen negativen EEG-Befund bei einer einmaligen Ableitung eine Epilepsie nicht ausschließen. Man kann dann noch versuchen, die paroxysmalen Erscheinungen im EEG durch verschiedene Methoden zu aktivieren, nämlich durch Hyperventilation (die im allgemeinen schon im Anschluß an jede Standardableitung durchgeführt wird) durch intermittierende Lichtreize, durch verschiedene Pharmaka



16 1/2-jähriger Junge. Paroxysmaler Ausbruch atypischer 3-4/sec. Krampfwellen mit gering ausgeprägter Spitzenkomponente (subklinischer Krampfpotentialausbruch vom Petit-mal-Typ).



18-jähriger Junge. Generalisierte 3/sec. spikes-and-waves-Abläufe fronto-praezentraler Dominanz (Absence vom Petit-mal-Typ)



Bipolare Ableitung: Krampffocus temporal links mit mäßiger Fortleitung zur Gegenseite. (8-jähriger Junge)

(z.B. Cardiazol, Chlorpromazin, Barbiturate), oder durch normalen Schlaf, der ebenfalls oft eine provozierende Wirkung auf das cerebrale Krampfgeschehen haben kann.

Eine ausführliche Darstellung der Epilepsien nach klinischen und elektroencephalographischen Gesichtspunkten findet sich in den Werken folgender Autoren: GIBBS u. GIBBS (1952), SELBACH (1953), PENFIELD u. JASPER (1954), GASTAUT (1954).

Exkurs a): Das EEG bei Psychosen.

Gruppen von psychotischen Patienten unterscheiden sich nach der Häufigkeit des Auftretens von elektroencephalographischen Anomalien deutlich von normalen Kontrollgruppen, aber man findet hierbei keine charakteristischen EEG-Veränderungen, die ausschließlich einer bestimmten Krankheitsform zuzuordnen wären und also diagnostischen Wert hätten.

Im EEG von Schizophrenen sieht man besonders häufig ein Vorherrschen flacher und schneller Aktivität (über 15/sec), doch kommt diese ebenso auch anderweitig, z.B. bei agitierten Depressionen (FINLEY u. CAMPBELL 1941), vor. Man nimmt an, daß eine Beziehung zwischen dieser schnellen Aktivität und der Erregungs-Komponente dieser Krankheitsformen besteht. Andere EEG-Veränderungen, die sich bei Psychosen häufiger finden, z.B. Allgemeinveränderungen, Dysrhythmien, Asymmetrie oder verminderte Blockierung der Alpha-Wellen, sind ebensowenig spezifisch.

In den letzten Jahren konnte M. KENNARD mit Hilfe der automatischen Frequenzanalyse feststellen, daß bei den Psychosen zwar nicht das eine oder das andere Merkmal, dafür aber die ganze Organisation des EEG auffällig ist (KENNARD, RABINOVITCH u. FISTER 1955, KENNARD u. SCHWARTZMAN 1955 u. 1956). Während bei Gesunden fast immer eine gewisse Übereinstimmung der Frequenzanteile von den verschiedenen Ableitpunkten festzustellen ist, zeigt die Frequenzanalyse bei den Psychosen, besonders bei der Schizophrenie, meistens eine mangelnde Koordination der einzelnen Hirnregionen untereinander auf. Wenn in akuten Fällen eine Besserung des Zustandes auftritt, kann oft auch eine zunehmende Koordination der EEG-Kurven beobachtet werden.

Solche Untersuchungen sind aber nur mit Hilfe der automatischen Frequenzanalyse möglich. Im übrigen lassen sich Veränderungen

des Krankheitsbildes im EEG anscheinend nur dann sicher erkennen, wenn sie gleichzeitig mit einer stärkeren Veränderung der Bewußtseinsfunktion einhergehen. So soll sich im allgemeinen bei einem Übergang von der manischen zur depressiven Phase oder umgekehrt keine Veränderung im EEG zeigen (DAVIS 1941). Bei periodischer Katatonie konnten dagegen BONKALO u. Mitarbeiter (1955) elektroencephalographische Verlangsamungen im Zusammenhang mit der stuporösen Phase feststellen, die in den Remissionsphasen wieder zurückgingen.

Andererseits bietet das EEG eine gute Möglichkeit zur Kontrolle der Behandlungsmethoden, die bei den Psychosen angewandt werden, nämlich der Schockbehandlung und der medikamentösen Therapie. Beide lösen vorübergehend tiefgreifende Veränderungen im EEG aus, die möglicherweise in Zusammenhang mit der therapeutischen Wirkung dieser Behandlungsmethoden stehen.

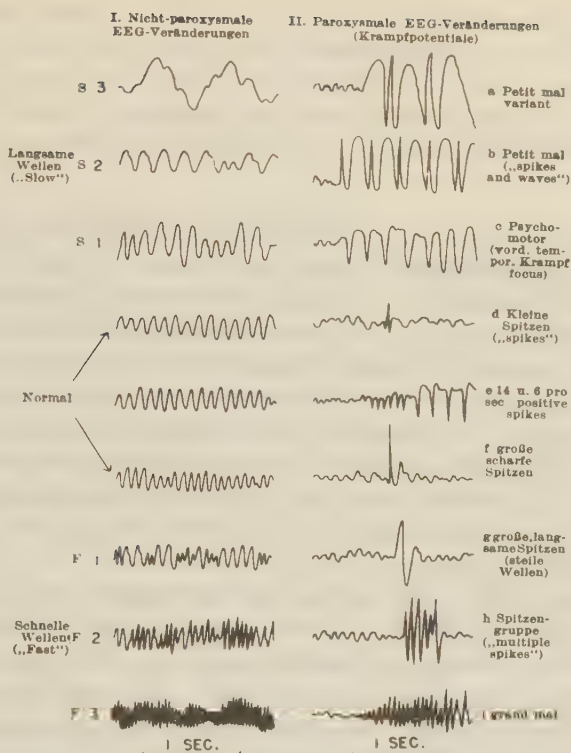
Exkurs b): Das EEG bei Stoffwechselstörungen und unter medikamentöser Einwirkung.

Ganz allgemein läßt sich sagen, daß die hirnelektrische Aktivität sehr stark von Veränderungen des inneren Milieus, insbesondere von Stoffwechselvorgängen, beeinflußt wird. Vor allem führen Störungen des oxydativen Grundstoffwechsels, wie sie z.B. bei Hypoxydose (Sauerstoffmangelzuständen) oder Hypoglycaemie vorliegen, zu starken elektroencephalographischen Veränderungen. Aber auch eine Reihe anderer Stoffwechselstörungen, wie sie bei Erkrankungen innerer Organe, besonders der Leber, und des innersekretorischen Drüsensystems vorkommen, können Veränderungen im EEG bewirken. Daraus geht hervor, daß die Auswertung und Beurteilung des EEG den Zustand des gesamten Organismus berücksichtigen muß, wenn keine Fehldeutungen unterlaufen sollen.

Auf dieser Empfindlichkeit des EEG gegenüber Veränderungen des Stoffwechselgeschehens beruht auch zu einem wesentlichen Teil seine Sensibilität gegenüber einer Reihe pharmakologisch wirksamer Substanzen. Vor allem sind jene Stoffe sedativer, hypnotischer oder narkotischer Wirkung zu erwähnen, die in den Stoffwechsel des Zentralnervensystems selbst eingreifen. Bei dem heute weit verbreiteten chronischen Gebrauch von Schlafmitteln und Analgetica ist auch eine genaue medikamentöse Anamnese bei der Auswertung des EEG eine Voraussetzung.

Die verschiedenartige Beeinflussung des EEG durch zentral wirksame Pharmaka hat in den letzten Jahren in Zusammenhang mit der Entwicklung der Psychopharmakologie und Pharmakopsychiatrie stark an Bedeutung gewonnen, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann. Es sei nur erwähnt, dass sich unter medikamentöser Einwirkung offenbar gewisse Korrelationen zwischen bestimmten Veränderungen des psychischen Verhaltens und solchen elektroencephalographischer Art auffinden lassen (BENTE 1956, BENTE u. ITIL 1957). Hieraus könnten sich u.a. auch neue Ansatzpunkte für die psychologisch-experimentelle Forschung ergeben.

Überblickt man die bisherigen Ausführungen über die diagnostische Bedeutung der elektroencephalographischen Untersuchungsmethode, so läßt sich zusammenfassend sagen, daß das Elektroencephalogramm nur Aufschlüsse über Veränderungen im Ablauf bestimmter Hirnfunktionen geben kann, auf deren physiologische Grundlage und Bedeutung im Kapitel VI noch näher eingegangen werden soll. Nur soweit bestimmte Krankheitsprozesse lokaler oder allgemeiner Art in die der elektroencephalographischen Aktivität zugrundeliegenden funktionalen Vorgänge eingreifen, können sie zu entsprechenden hirnelektrischen Veränderungen führen. Diese zeigen uns daher zunächst nur an, daß der zentrale Regulationsapparat als solcher in Mitleidenschaft gezogen ist, jedoch nicht, welcher Art der schädigende oder störende Prozeß ist. Die Bedeutung der elektroencephalographischen Untersuchungen liegt daher weniger in dem Aufweis bestimmter krankheitsspezifischer Veränderungen, als vielmehr in der Möglichkeit, überhaupt Veränderungen der Hirnfunktion aufzudecken und in ihrer Entwicklung zu verfolgen, wobei die Interpretation der Befunde stets in Zusammenhang mit der Analyse des gesamten klinischen Bildes erfolgen muß.



Variationen des normalen und pathologischen EEG.

In der linken Kolonne (I.) sind die Hirnpotentiale aufgeführt, die im allgemeinen nicht paroxysmal auftreten. Oben sind die für Erwachsene langsamen, unten die schnellen Wellen dargestellt. Die Reichweite des Normalen beträgt für den Erwachsenen $8 \frac{1}{2}$ –12 je Sekunde, (Mitte der Kolonne). Die Skala des Pathologischen ist durch 1, 2 und 3 bezeichnet, wobei 1 leicht abnorm, 2 deutlich pathologisch und 3 schwer verändert bedeutet. Diese Skala muß je nach dem Alter variiert werden. In der rechten Kolonne (II.) sind die Hirnpotentiale aufgeführt, die paroxysmal auftreten. Sie sind entweder deskriptiv oder nach der Art des klinischen Anfalls bezeichnet, bei dem sie am häufigsten vorkommen. Der Wellentyp, der als "Psychomotor" bezeichnet ist, erscheint im allgemeinen diffus über dem Cortex während eines solchen Anfalls. Im anfallsfreien Intervall findet man häufig einen Focus negativ gerichteter Krampfpotentiale in der vorderen Temporalregion. Die "14 and 6 pro sec positive spikes" umfassen in Wirklichkeit 2 Wellentypen, die für sich unabhängig als 14 oder 6 je Sekunde positive Spitzenpotentiale auftreten können.

(aus F.A. GIBBS, Der gegenwärtige Stand der Elektrencephalographie; Arch. Psychiat. Zschr. Neurol. 1949, 183:1, S.7).

Kapitel IV

DIE INTRAINDIVIDUELLE VARIABILITÄT DES EEG

Die EEG-Untersuchungen, die eine engere Beziehung zu psychologischen Fragestellungen haben, zerfallen in zwei Gruppen, die an zwei grundlegende Eigenschaften des menschlichen EEG anknüpfen: seine Veränderlichkeit von Moment zu Moment und die Konstanz seiner Merkmale über grössere Zeiträume hinweg. Man geht von der Annahme aus, daß die kurzfristigen Veränderungen zum Teil in Zusammenhang mit gleichzeitig ablaufenden psychischen Vorgängen stehen könnten. Die charakteristischen konstanten Merkmale eines EEG, etwa die habituelle Alpha-Frequenz, sollen dagegen möglicherweise eine Beziehung zu psychischen Eigenschaften oder Fähigkeiten des betreffenden Individuums haben.

Der Zusammenhang zwischen dem Verlauf der elektroencephalographischen Ableitung und gewissen psychischen Vorgängen kann im Experiment unmittelbar beobachtet werden: Man läßt z.B. die Vp. während der Ableitung bestimmte Aufgaben lösen und sieht dabei auf der Kurve, welche Veränderungen dabei auftreten. Dagegen sind die Untersuchungen der zweiten Gruppe darauf angewiesen, Personengruppen mit bekannten Eigenschaften auf gemeinsame EEG-Merkmale hin zu prüfen, oder umgekehrt, die EEG-Kurven vieler Vpn zu sammeln, nach gemeinsamen Merkmalen zu gruppieren, und dann bei den Vpn nach Eigenschaften, die den EEG-Merkmalen entsprechen könnten, zu suchen.

Um also den Unterschied noch einmal festzuhalten: bei den Arbeiten der ersten Gruppe handelt es sich um Versuche, den ständigen Wechsel im Kurvenbild mit gleichzeitig ablaufenden psychischen Vorgängen in Zusammenhang zu bringen, während die Arbeiten der zweiten Gruppe sich darum bemühen, eine Beziehung zwischen den charakteristischen EEG-Merkmalen einer Vp. und gewissen Eigenschaften oder Fähigkeiten aufzuspüren.

Während bei der "Standardableitung", die hauptsächlich für diagnostische Zwecke durchgeführt wird, der Patient in möglichst weitgehender psychischer Inaktivität verharren soll, geht es bei den Untersuchungen über das Ausmaß der intraindividuellen Variabili-

tät darum, gerade dann abzuleiten, wenn psychisch etwas geschieht. Es müssen also entsprechende Versuchssituationen geschaffen werden. Man kann hier von einer "dynamischen" Elektroencephalographie sprechen, die sich gegenüber der "statischen" Methode der Standardableitungen abhebt (GASTAUT 1949).

1. Wahrnehmungen und Vorstellungen

Wenn im Verlauf einer bei geschlossenen Augen vorgenommenen Ableitung die Vp für einige Sekunden die Augen öffnet, zeigt die EEG-Kurve in der Regel die sogenannte Blockierung des Alpha-Rhythmus, d.h. der Alpha-Rhythmus verschwindet, an seine Stelle treten Wellen mit hohen Frequenzen und sehr niedrigen Amplituden. Die gleiche Wirkung lässt sich erzielen, wenn man die geöffneten Augen der Vp zunächst abdeckt und sie dann der Lichteinwirkung freilässt, oder wenn man im dunklen Raum und bei geöffneten Augen der Vp eine Lichtquelle einschaltet. Die Latenzzeit, das heißt die Zeit zwischen Öffnen der Augen, bzw. Beginn des Lichtreizes, und Eintreten des Blockierungseffektes im EEG liegt zwischen 0,1 und 0,9/sec. (OSTOW 1950); sie ist um so kürzer, je stärker die Intensität des Lichtes ist. Nach dem Schliessen der Augen bzw. dem Erlöschen des Lichtreizes setzt die Alpha-Aktivität mit einer Verzögerung ("Perseverationszeit") von etwa 1 Sec. ($\pm 0,5$) wieder ein (TRAVIS und KNOTT 1937), und zwar in besonders deutlicher Ausprägung, meistens in einer mehrere Sekunden andauernden besonders gut ausgeprägten Wellenfolge. (Bei Routineableitungen lässt man die Vp zwischendurch immer wieder für einige Sekunden die Augen öffnen und wieder schliessen, um auf diese Weise auf der Kurve Stellen zu erhalten, an denen der Alpha-Rhythmus besonders gut beobachtet werden kann).

Wenn hier vom "Einsetzen des Lichtreizes" gesprochen wird, ist damit natürlich immer impliziert, dass die Vp, die vorher die Augen geschlossen oder abgedeckt hatte oder in einen völlig dunklen Raum blickte, nun beginnt, etwas zu sehen. Das "Was" scheint dabei keine besondere Bedeutung für die Latenzzeit der Blockierung zu haben, jedoch die Perseverationszeit, also die Zeit zwischen dem Aufhören der Lichteinwirkung und dem Wiederauftreten der Alpha-Aktivität, wird dadurch beeinflusst. Sie ist bei einem unstrukturierten visuellen Feld, also wenn die Vp eine glatte helle Fläche vor sich hat, kürzer als wenn sie Figuren, Schriftzeichen oder auch die verschiedenen Gegenstände des Ableitungsraumes sieht (TRAVIS und KNOTT 1937). Auch der Grad der Blockierung, d.h. das

Ausmaß, in dem die Kurve an Amplitudenhöhe verliert, soll beim Sehen von Gestalten stärker sein als bei einem gleichmässig belichteten Gesichtsfeld. Aber auch schon der bloße Versuch, in dem leeren Feld etwas zu sehen, hat die gleiche Wirkung wie die tatsächliche Gestaltwahrnehmung (ADRIAN und MATTHEWS 1934).

Wenn die Augen für längere Zeit im hellen Raum geöffnet bleiben, tritt eine Gewöhnung ein und die Alpha-Aktivität erscheint nach anfänglicher Blockierung allmählich wieder ("Adaptation des Alpha-Rhythmus"). Ein Blockierungseffekt zeigt sich von neuem, wenn die Vp die Augen zwischendurch wieder einmal kurz schliesst und dann öffnet. In manchen Fällen läßt sich der Beginn einer Adaptation schon ungefähr 3 Sekunden nach dem Öffnen der Augen und dem Einsetzen des Blockierungseffektes beobachten. Wenn die Augen längere Zeit im hellen Raum geöffnet waren, kann eine plötzliche Verdunkelung einen ebensolchen Blockierungseffekt hervorrufen, wie sonst das Auftreten eines Lichtreizes. Auch wenn man den Versuch in einem vollständig verdunkelten Raum durchführt, wird die Alpha-Aktivität unmittelbar nach dem Öffnen der Augen verringert, doch erscheint sie dann schneller wieder in ihrer vorherigen Ausprägung, als unter Lichteinwirkung. Wenn nur ein Auge geöffnet wird, tritt die Blockierung in der gleichen Weise auf wie beim Öffnen beider Augen. Bei halbseitig blinden Menschen kann man eine Blockierung auch dann feststellen, wenn das blinde Auge geöffnet wird. Bei ganz blinden Personen aber hat das Öffnen der Augen gar keine Wirkung auf die Alpha-Aktivität. Es scheint hier also primär die Lichtempfindung zu sein, wodurch das EEG modifiziert wird. Der Blockierungseffekt, der beim Öffnen der Augen im Dunkeln auftritt, ist dann als bedingter Reflex zu verstehen: weil das Öffnen der Augen gewöhnlich mit Lichteinfall ins Auge einhergeht und dieser wiederum eine Blockierung des occipitalen Alpha-Rhythmus zur Folge hat, erscheint der Blockierungseffekt schliesslich auch bei Augenöffnen ohne Lichteinwirkung, um wieder abzuklingen und schließlich ganz auszubleiben, wenn man den Versuch mehrere Male hintereinander im Dunkeln wiederholt. Dies entspricht dem "Verlöschen", dem alle konditionierten Reflexe ausgesetzt sind, wenn nicht wieder eine Verstärkung der Verbindung erfolgt. Bei Blinden liesse sich demnach ein Zusammenhang zwischen Augenöffnen und Alpha-Blockierung deshalb nicht beobachten, weil hier die Lichteinwirkung niemals als verbindungsschaffendes Zwischenglied, als "unkondi-

tionierter Reiz", wirken konnte (vgl. OSTOW).

Wenn im Anschluß an optische Wahrnehmungen bei den Vpn Nachbilder auftreten, wird die Alpha-Aktivität in ähnlicher Weise blockiert wie bei den Wahrnehmungen selbst; dies allerdings nur dann, wenn die Vp ihnen ihre aktive Aufmerksamkeit zuwendet (JASPER u. CRUIKS-HANK 1937, TRAVIS u. HALL 1938).

Wie schon gesagt, liegt zwischen dem Einsetzen des Lichtreizes und dem Beginn der Alpha-Blockierung eine Latenzzeit von 0,1 bis 0,9 Sec. Wenn aber der Lichtreiz für die Vp die Bedeutung eines Signals zur Ausführung eines Befehles bekommt (z.B. "sobald das Licht angeht, heben Sie die Hand") und also erwartet wird, verringert sich die Latenzzeit um 14% gegenüber dem Kontrollversuch, bei dem der Lichtreiz keinen Signalcharakter hatte. Die periphere Reaktion auf das Lichtsignal, hier das Heben der Hand, kann sogar noch eher erfolgen als die hirnelektrische Reaktion der Alpha-Blockierung. Ebenfalls verkürzte Latenzzeiten ergeben sich, wenn die Vp während des Versuchs ein Gewicht halten muß, oder wenn sie einen kontinuierlichen Summton hört. Diese Verkürzung der Latenzzeiten unter veränderten Versuchsbedingungen läßt sich vielleicht auf eine Umstrukturierung der corticalen Prozesse zurückführen; sie wäre dann anzusehen als die Auswirkung einer erhöhten Empfindlichkeit der occipitalen optischen Rindengebiete für affere neuronale Impulse, hervorgerufen durch ein Anwachsen der Aktivität in anderen Rindenanteilen (KNOTT 1939, vgl. auch GELLHORN und Mitarbeiter 1954).

A k u s t i s c h e Reize üben einen geringeren Einfluß auf die Alpha-Aktivität aus als Lichtreize. Das Hören eines Tones geht bei weniger als 50% aller Vpn mit einer Blockierung der Alpha-Aktivität einher, und auch da in der Regel nur beim ersten Mal oder höchstens bis zur ersten oder zweiten Wiederholung, d.h. solange der akustische Reiz für die Vp überraschend kommt oder sie erschreckt. Bei weiteren Wiederholungen läßt sich keine elektroencephalographische Reaktion mehr feststellen. Auch bei einem lang andauernden Summton erscheint die Alpha-Aktivität sehr rasch wieder, wenn sie beim Einsetzen des Tones momentan blockiert wird. Hohe und tiefe Töne ergeben keine unterschiedliche Reaktion. Wenn der Ton zum Signal für die Ausführung einer Bewegung wird, tritt eine Verzögerung der Latenzzeit wie beim entsprechenden Versuch mit einem Lichtreiz ein. Auch hier kann die motorische Re-

aktion der elektroencephalographischen Reaktion um Bruchteile von Sekunden vorausgehen, besonders dann, wenn die Vp zu möglichst schnellem Reagieren aufgefordert wurde. Besser als in den einfachen Versuchen läßt sich der Blockierungseffekt erzielen, wenn die Vp zwischen zwei Tönen unterscheiden und für jeden Ton eine andere Bewegung ausführen soll. Gesprochene Worte sind für die Auslösung der Alpha-Blockierung weitaus wirkungsvoller als bloße Töne; umso mehr, wenn sie bei der Vp eine Verstärkung der Aufmerksamkeit oder eine Gefühlsbeteiligung hervorrufen. Wenn man z.B. die Vp beim Namen ruft, erscheint in allen Fällen eine sehr starke und anhaltende Blockierung. Dagegen kann die Vp selbst eine leichte, keine persönlichen Dinge berührende Unterhaltung führen, ohne daß die Alpha-Aktivität dadurch unterbrochen würde (OSTOW 1950).

T a k t i l e Reize und S c h m e r z r e i z e modifizieren die Alpha-Aktivität nur in einem geringen Maß. Eine deutlich ausgeprägte Blockierung bewirken sie nur dann, wenn sie Signalcharakter haben oder wenn die Vp durch sie überrascht oder erschreckt wird (JASPER und CRUIKSHANK 1937, TRAVIS und BARKER 1938).

Weitere Beobachtungen über den Zusammenhang zwischen Wahrnehmungen und elektroencephalographischer Reaktion finden sich in den Arbeiten von POPOV (1950), WALSH (1953) und MARTIN und Mitarbeitern (1954).

Zusammenfassend läßt sich hier sagen: optische Reize bewirken im EEG eines gesunden Menschen nahezu immer einen Blockierungseffekt. Ob und wie weit durch akustische, taktile und Schmerzreize eine Blockierung der Alpha-Aktivität hervorgerufen wird, hängt nicht so sehr von der Modalität und Intensität der Reize ab als von der Bedeutung, die diese im Rahmen der jeweiligen Gesamtsituation für die Vp annehmen.

V o r s t e l l u n g e n und Denkvorgänge gehen in der Regel mit den gleichen elektroencephalographischen Erscheinungen einher wie Sinnesempfindungen und Wahrnehmungen: nämlich mit einer Alpha-Blockierung. Diese Reaktion läßt sich z.B. beobachten, wenn man eine Vp auffordert, sich ein soeben gesehenes Bild oder eine bestimmte Situation lebhaft vorzustellen, oder wenn man Denkaufgaben lösen läßt.

Aber auch hier scheint es wieder so zu sein, daß im allgemeinen vorwiegend visuelle Vorstellungen und solche Denkvorgänge, die mit visuellen Vorstellungen verknüpft sind, von einer Alpha-Blockierung

begleitet werden, weniger aber akustische Vorstellungen und rein sprachliche Denkabläufe. So stellten GOLLA und Mitarb. (1943) und SHORT (1953) im Rahmen ihrer Untersuchungen über Vorstellungstypen (vgl. Kap. V, 2) ihren Vpn u.a. eine Aufgabe, in der danach gefragt wurde, wieviele bemalte und wieviele unbemalte Flächen solche Würfel haben, die aus einer mehrfachen Teilung eines größeren, nur an den Außenflächen bemalten Würfels entstehen. Bei den Vpn, die diese Aufgabe unter Zuhilfenahme ihrer visuellen Vorstellungsgabe lösen konnten, zeigte sich im EEG während dieser Zeit eine Alpha-Blockierung, während bei den Vpn, die diese Aufgabe rein rechnerisch angingen, meistens keine elektroencephalographischen Veränderungen zu bemerken waren. Bei der erwähnten Untersuchung fand man in der Versuchsgruppe ausserdem eine kleine Anzahl von Personen, bei denen praktisch a l l e Vorstellung- und Denkabläufe visuell bestimmt waren; Die EEG-Kurven dieser Menschen fielen durch das Fehlen jeglicher Alpha-Aktivität auf. Bei ihnen ist die Alpha-Blockierung gewissermassen zum Dauerzustand geworden. Verschiedene Schwierigkeitsgrade bei der Aufgabenstellung bringen keine Unterschiede in der elektroencephalographischen Reaktion mit sich.

Wir haben also gesehen, daß Empfindungen und Wahrnehmungen, Vorstellungen (alle vorwiegend visueller Art) und gerichtete Denkabläufe, wie sie durch eine Aufgabenstellung ausgelöst werden, immer mit der gleichen elektroencephalographischen Erscheinung, nämlich der Alpha-Blockierung, einhergehen. Feinere Unterschiede, wie etwa die Differenziertheit des Wahrnehmungsfeldes oder der objektive oder subjektive Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe, lassen sich im EEG nicht sicher erkennen, und ebensowenig kann man nachträglich aus der EEG-Kurve sehen, ob eine Blockierungsphase etwa durch einen Lichtreiz, durch die Suggestion einer Vorstellung oder auch spontan, also ohne feststellbare Einwirkung, ausgelöst worden ist. Die Erwartungen der ersten EEG-Forscher, die angenommen hatten, daß die Hirnwellen ein getreues Korrelat der psychischen Vorgänge seien, haben sich also nicht erfüllt. In der EEG-Kurve spiegelt sich weder der Inhalt noch die Verlaufsform eines psychischen Vorganges in irgend einer Weise wider. Die schnelle Aktivität niedriger Amplituden, die in gleicher Weise bei Empfindungen, Wahrnehmungen, Vorstellungen und Denkabläufen an Stelle des Alpha-Rhythmus tritt, muß also etwas ausdrücken,

das allen diesen psychischen Geschehnissen gemeinsam ist. Es ist dies wohl eine erhöhte Wachheit, Aufmerksamkeit oder Bewußtheit.

Man nimmt heute an, dass subcorticale Strukturen, besonders die Reticulärformation des Hirnstammes, eine Rolle bei der Regulierung des corticalen Aktivitätsniveaus, und damit also auch beim Zustandekommen dieser Aufmerksamkeitsreaktion, spielen. Ausführlicher wird auf diese Hypothese im Kap.VI eingegangen.

Im Anschluß an die Wahrnehmungen und Vorstellungen soll noch das Phänomen der "bedingten elektroencephalographischen Reaktionen" kurz behandelt werden.

Hierbei handelt es sich um eine Erscheinung, die sich bei geeigneter Versuchsanordnung relativ leicht hervorbringen läßt, und zwar sowohl im EEG des Menschen als auch in dem von höheren Tieren. Sie besteht darin, daß ein Sinnesreiz, der normalerweise **keine** elektroencephalographische Reaktion hervorruft, nach wiederholtem gemeinsamen Auftreten mit einem anderen, das EEG beeinflussenden Sinnesreiz schließlich auch alleine eine elektroencephalographische Veränderung bewirkt, und zwar im gleichen Sinne, wie der andere Sinnesreiz, mit dem er vorher gemeinsam aufgetreten ist. Die Bezeichnung "bedingter Reflex" für diesen Vorgang hat sich allgemein eingebürgert, obwohl es korrekter wäre, von "bedingten elektroencephalographischen Reaktionen" zu sprechen, da sich hier die Veränderungen ja nicht auf motorische oder vegetative Erscheinungen, sondern lediglich auf die hirnelektrischen Abläufe erstrecken (GASTAUT 1955).

Die einfachste und gebräuchlichste Kombination bei Versuchen auf diesem Gebiet ist die von Licht und Ton. Töne üben ja nur dann eine Wirkung auf das EEG aus, wenn sie für die Vp unerwartet und erschreckend sind oder Signalcharakter haben, während Lichtreize das EEG immer im Sinn einer Alpha-Blockierung beeinflussen.

Um eine bedingte elektroencephalographische Reaktion zu erzielen, wendet man Tonsignale von geringer Lautstärke und von wenigen Sekunden Dauer an, die man, um jeden Überraschungseffekt auszuschliessen, vor dem eigentlichen Beginn des Conditionierens zuerst noch einige Male wiederholt. Den Lichtreiz, der seinerseits möglichst stark sein muß, damit seine elektroencephalo-

graphische Wirkung sichergestellt ist, läßt man jeweils erst etwas später als den Ton einsetzen, aber doch noch so, daß beide sich überschneiden (z.B. Ton von 5 Sec. Dauer; Lichtreiz von 3 Sec. Dauer, der 2 Sec. später als der Ton einsetzt). Zuerst erfolgt beim Auftreten des Tones nichts, und erst der kurz darauf beginnende Lichtreiz bringt eine elektroencephalographische Reaktion mit sich. Wenn man diese Kombination von Ton und Licht aber häufig wiederholt (etwa in Abständen von 30 Sec.), so ergibt sich schon bald eine Veränderung in der elektroencephalographischen Reaktion: der Blockierungseffekt erscheint nun nicht erst mit dem Lichtreiz, sondern schon bei Einsetzen des akustischen Reizes, der zuerst keinerlei Wirkung auf das EEG ausgeübt hat. Wenn man den Lichtreiz nun wieder wegfallen läßt, kann der Ton allein zunächst noch einige Male den Blockierungseffekt auslösen, aber er wird bald wieder wirkungslos, wenn er nicht eine erneute Kombination mit dem Lichtreiz eingeht. Dies entspricht dem Vorgang der "Auslöschung" beim bedingten Reflex.

Das soeben geschilderte Verfahren kann auf verschiedene Weise abgewandelt werden. So können z.B. Ton und Lichtreiz gleichzeitig gegeben werden. Die bedingte elektroencephalographische Reaktion - Alpha-Blockierung auf akustischen Reiz - läßt sich auch dann beobachten, wenn nach mehrfachen Wiederholungen der Lichtreiz wegfällt. Oder es wird ein zeitlicher Abstand zwischen Verklingen des Tones und Einsetzen des Lichtreizes gelegt, der groß genug ist (KNOTT und HENRY 1941: länger als 4 Sec.), um nach einer bei Ertönen des akustischen Signals erfolgten Alpha-Blockierung den Alpha-Rhythmus wiedererscheinen zu lassen. Nach einer Anzahl von Wiederholungen bildet sich hierbei eine bedingte elektroencephalographische Reaktion gegenüber dem konstanten zeitlichen Abstand zwischen Ton und Licht: wenn nun der Lichtreiz weggelassen wird, tritt eine Alpha-Blockierung genau an dem Zeitpunkt nach Erklängen des Tones ein, an dem vorher immer der Lichtreiz eingesetzt hat (JASPER und SHAGASS 1941).

Diese "Zeitmessung", die sich in der elektroencephalographischen Reaktion ausdrückt, ist unabhängig von einer gleichlaufenden bewußten Zeitschätzung der Vp, und genauer als diese. Dies zeigt sich, wenn die Vp nach dem Erklängen des Tones den Zeitpunkt, zu dem das Licht aufleuchten müßte, angeben soll. Die elektroencephalographische Reaktion steht hier also nicht in Verbindung mit

einem bewußten Vorgang, wie etwa der bewußten Erwartung des Lichtreizes zu einem bestimmten Zeitpunkt.

A. u. K. JUS (1957) machten Versuche mit Tönen, die gerade unter der Hörschwelle lagen. Die Wirkung war die gleiche wie bei den hörbaren Tönen: nach häufigem gemeinsamen Auftreten von Lichtreiz und unterschwelligem Ton wurde der Lichtreiz weggelassen, und nun bewirkten die unterschwelligen Töne, obwohl sie von der Vp gar nicht gehört werden konnten, selbständig die Alpha-Blockierung.

Ebenso wie auf unterschwellige akustische Reize reagiert das EEG übrigens auch auf unterschwellige Lichtreize (TRAVIS und EGAN 1938).

Andererseits ist es aber auch möglich, die bedingte elektroencephalographische Reaktion gerade durch bewußte und willensabhängige Vorgänge auszulösen. So etwa durch eine bestimmte willkürliche Bewegung wie das Faustballen, die als solche zunächst keine Wirkung auf den occipitalen Alpha-Rhythmus ausübt, die jedoch nach wiederholtem gemeinsamen Auftreten mit einem Lichtreiz dann auch selbständig die Alpha-Blockierung bewirkt (SHAGASS 1942). Bei einem ähnlichen Versuch muß die Vp sich das Wort "Blockieren" vergegenwärtigen und gleichzeitig mit der Hand eine Taste niederdrücken, die ein Licht zum Aufleuchten bringt. Nach einiger Zeit genügen die innerliche Aufforderung und die Handbewegung ohne den Lichtreiz, um die elektroencephalographische Reaktion hervorzubringen (JASPER und SHAGASS 1941).

Diese Auswahl aus der Zahl der Versuche über bedingte elektroencephalographische Reaktionen möge hier genügen.

Es gibt noch viele Tierversuche, vor allem auch von russischen und japanischen Forschern (z.B. SMIRNOV, ROUSINOV, YOSHII, 1957), deren Anliegen es ist, Pawlows Theorie der bedingten Reflexe elektroencephalographisch zu untermauern. Aber bei allen diesen Versuchen geht es, wie bei den oben geschilderten, im Grunde genommen auch immer um die gleiche elektroencephalographische Reaktion, die auf ähnliche Weise wie ein peripher bedingter Reflex zustande kommt: nämlich dadurch, daß ein zunächst indifferenter Reiz durch wiederholtes gemeinsames Auftreten mit einem wirksamen Reiz schließlich selbst vorübergehend in der gleichen Weise wie dieser wirksam wird.

2. Das EEG bei Affekten.

Veränderungen in der EEG-Kurve ergeben sich auch beim Auftreten von Affekten, und zwar hauptsächlich bei den sogenannten Primitivaffekten des Schreckens, der Aufregung und der Wut, die durch einen Verlust an Bewußtseinsklarheit gekennzeichnet sind. LERSCH beschreibt diese folgendermaßen: "In den Primitivaffekten verläßt der Mensch seine Haltung als denkendes Wesen, mit der er sich vom rein animalischen Wesen dadurch unterscheidet, daß er imstande ist, die Welt vor das Bewußtsein zu bringen als eine Welt von Gegenständen und Zusammenhängen, und sein Verhalten bewußt auf diese Ordnung auszurichten. Es findet ein Abbau der noetischen und willensmässigen Schicht der Person, ein Absinken in eine vorintellektuelle, ungeistige und willensmässig unkontrollierte Haltung statt". ¹⁾

Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Affekten und EEG-Veränderungen stößt meistens auf die Schwierigkeit, daß sich Affekte (ebenso wie ja auch die Mehrzahl der Gefühle) nicht nach Belieben im Experiment auslösen lassen. Relativ einfach ist es noch, bei der Vp ein Erschrecken hervorzurufen, etwa durch starke und unerwartete Geräusche. Allerdings läßt sich ein solcher Versuch nicht nach Belieben wiederholen, denn sobald der Reiz nicht mehr unerwartet und unbekannt ist, bewirkt er keinen Schreck mehr, und also auch keine EEG-Reaktion. Beim Erwachsenen läßt sich echte Aufregung oder Wut überhaupt kaum im Experiment "herstellen". Es besteht hier jedoch die Möglichkeit, solche Personengruppen zur Untersuchung heranzuziehen, von denen man weiß, daß sie sich im Augenblick in einer bestimmten seelischen Verfassung befinden; zur Untersuchung der Aufregung z.B. Studenten vor dem Examen, bei denen man ja sicher ein gewisses Maß an Aufregung voraussetzen darf (JASPER u. CRUIKSHANK 1937), oder aufgeregte Psychopathen; zur Untersuchung der Wut solche Menschen, die eine auffällige Neigung zu Wutausbrüchen haben, und aggressive Psychopathen.

Im EEG wird bei Erschrecken und Aufregung der Alpha-Rhythmus blockiert, d.h. es treten an seine Stelle schnelle Wellen niedriger Amplituden; bei Wutanfällen dagegen zeigen sich Gruppen hochamplitudiger Theta-Wellen, vornehmlich praezentral-parietal. Wie ist hier der Zusammenhang zwischen den Affekten als psychischen Phänomenen und den speziellen EEG-Veränderungen zu verstehen?

¹⁾ LERSCH, Ph., Aufbau der Person, S.176

Betrachten wir zuerst diejenigen psychischen Vorgänge, bei denen im EEG Wellen mit hohen Frequenzen und niedrigen Amplituden auftreten.

Beim Erschrecken handelt es sich - wie LERSCH sagt - "um eine gewaltsame Unterbrechung der psychomotorischen Lebensvorgänge, eine Störung ihres kontinuierlichen organischen Ablaufs." ¹⁾
Die Aufregung dagegen zeigt sich "in der Unruhe, der Verwirrung und Desorganisation unseres Verhaltens als eine Störung des geordneten Vorstellungs- und Denkverlaufs, als Ausschaltung fixierter Zielvorstellungen." ²⁾

Sowohl die Lähmung aller Vorstellungs- und Gedankengänge beim Erschrecken als auch ihr ungeordnetes Durcheinanderlaufen in der Aufregung wird also von einer Abflachung in der EEG-Kurve begleitet. Das gleiche Bild, nämlich schnelle niedrige Wellen anstelle des Alpha-Rhythmus, finden wir aber auch, wie wir im letzten Abschnitt gesehen haben, bei Empfindungen und Wahrnehmungen und unter bestimmten Bedingungen bei Vorstellungs- und Denkabläufen. Es ist also nicht so, daß dieses durch schnelle sehr niedrige Wellen gekennzeichnete Kurvenbild sich einem bestimmten psychischen Vorgang zuordnen ließe, sondern man kann ihm eigentlich nicht mehr entnehmen, als daß die mittlere Bewußtseinslage, wie sie im entspannten Wachzustand eingehalten wird (elektroencephalographisch: Alpha-Rhythmus) zugunsten einer erhöhten psychischen Aktivität aufgegeben wurde. Denn während die Alpha-Wellen mit ihren relativ hohen Amplituden wohl dadurch zustande kommen, daß die Neuronen in einem großen Teil der Hirnrinde im gleichen Rhythmus entladen, so daß sich ihre Aktionsströme summieren können, läßt sich aus den schnellen Wellen mit niedriger Amplitude auf eine Aufspaltung in kleine und kleinste neuronale Funktionsgruppen mit einem jeweils eigenen Rhythmus der Entladung schließen. Aus einem solchen "schnellen" EEG ersieht man nur, daß sich das corticale Aktivitätsniveau erhöht hat, also daß im Augenblick etwas geschieht; über das "Was" läßt sich jedoch nichts aussagen.

Ein ganz anderes elektroencephalographische Bild als bei Schreck und Aufregung finden wir bei der Wut, und zwar meist

¹⁾ Ph.LERSCH, a.a.O., S.190
²⁾ Ph.LERSCH, a.a.O., S.191/192

nicht gleichzeitig mit manifesten Wutausbrüchen (bei denen die Ableitung gar nicht möglich wäre), sondern bei Vpn, die im Augenblick zwar ganz ruhig sein können, die aber eine Neigung zu solchen Ausbrüchen und zu aggressiven Verhaltensweisen haben. Es handelt sich hier um gruppenweise auftretende Theta-Wellen, die vorwiegend temporal-praezentral erscheinen. Wie wir gesehen haben, kann man aus einer Verlangsamung der Frequenzen meistens auf eine Verminderung der Bewußtseinsklarheit schließen. Hier besteht sicher ein Zusammenhang zwischen der Neigung zu zeitweiligen Bewußtseinsstörungen, die sich in dem Auftreten der Theta-Gruppen anzeigt, und den Wutanfällen, denn auch in der Wut ist ja das Bewußtsein immer getrübt. LERSCH weist auf den Ausdruck "blind vor Wut" hin und sagt in diesem Zusammenhang: "Der Wütende sieht die Umwelt gar nicht in ihren gegenständlichen Sachzusammenhängen, sondern erlebt sie schlechthin, in Bausch und Bogen, als dumpfen Druck und Widerstand, gegen die sich seine gestauten Energien entladen. In der Wut wird also die Schicht der bewußten Überlegung abgebaut, der Mensch sinkt - wie auch im Schreck und in der Aufregung - zurück auf die Schicht eines entwicklungsgeschichtlich früheren Stadiums, die er mit dem Tier gemeinsam hat." ¹⁾

Dieses "Zurücksinken auf ein entwicklungsgeschichtlich früheres Stadium" kommt zustande durch die Ausschaltung hemmender Hirnrindenfunktionen, und durch den damit ermöglichten Einfluß tieferer Hirnstrukturen. Hunde, denen zu experimentellen Zwecken das Großhirn operativ entfernt worden ist, zeigen schon bei der geringsten Provokation alle körperlichen Anzeichen eines Wutausbruches, und zwar in einer Stärke, die in gar keinem Verhältnis zu dem Anlaß steht. Bei anderen Experimenten (an Katzen und Affen mit intaktem Großhirn) fand man, daß eine elektrische Reizung des Hypothalamus ebenfalls solche wutartigen Reaktionen - diesmal ohne jegliche äussere Provokation - zur Folge hat. Umgekehrt lassen sich bei Tieren, deren Hypothalamusregion elektrolytisch zerstört worden ist, überhaupt keine Wutreaktionen mehr auslösen (SPIEGEL und Mitarb. 1951, BARD u. MOUNTCASTLE 1948, LINDSLEY 1951).

(In der angelsächsischen Literatur wird in diesem Zusammenhang oft der Begriff "sham rage", zu deutsch etwa "Scheinwut", angewandt, womit zum Ausdruck gebracht werden soll, dass diese

1) LERSCH, Ph., a.a.O., S.193

Reaktionen, die nach Entfernung des Großhirns oder bei elektrischer Stimulation des Hypothalamus auftreten, zwar alle äusseren Anzeichen der Wut bieten, daß sie aber trotzdem nicht mit der echten Wut, die ein intaktes Tier in natürlichen Situationen erlebt und auslebt, gleichzusetzen ist).

Beim Zustandekommen von Affekten scheint also die Hypothalamusregion eine entscheidende Rolle zu spielen. Dies steht wohl im Zusammenhang mit der Funktion des Hypothalamus als Steuerungsorgan des autonomen Nervensystems und der hormonalen Regulation, die ja beide während affektiver Zustände in gesteigerte Tätigkeit treten (GLASER 1955). Jedoch kann man, wie die in der Neurochirurgie gemachten Erfahrungen gezeigt haben, die physiologische Grundlage der Affekte nicht in einem einzigen, eng umschriebenen diencephalen Bezirk und dessen Verbindung mit der Großhirnrinde lokalisieren, sondern man muß annehmen, daß ausgedehntere Substrate beteiligt sind (SPIEGEL 1951). Nach LINDSLEY (1951) bilden Hypothalamus, vordere Thalamus-Kerne und bestimmte corticale Gebiete (besonders Gyrus Cinguli und Gyrus Hippocampi) samt deren Verbindungswegen einen Mechanismus, der affektives Erleben und affektiven Ausdruck ermöglicht.

Ableitungen in der Nähe der Thalamus- oder Hypothalamusregion (mittels sogenannter Nasopharyngeal-Elektroden, die durch den Nasen-Rachenraum eingeführt werden) haben bei gleichzeitiger Ableitung von der Schädeloberfläche gezeigt, daß das Auftreten von "Delta"-Wellen hier und dort übereinstimmend erfolgt (HOAGLAND 1938. Mit "Delta" werden hier noch alle Wellen bezeichnet, die langsamer sind als Alpha-Wellen; es kann sich also ebenso gut um Theta-Wellen handeln). HOAGLAND fand, daß die "Delta"-Wellen etwa 3-4 Milli-sec. später im Cortex als im Hypothalamus erscheinen, und er nimmt an, daß die corticalen Wellen in Zusammenhang mit dem bewußten Erleben der emotionalen Reaktion stehen.

Wie wir in Kapitel II gesehen haben, sind die Theta- und Delta-Wellen hauptsächlich in den EEG-Kurven kleiner Kinder von 2 bis 5 Jahren zu finden. Aber auch bei älteren "normalen" Kindern treten gelegentlich noch Delta- und Theta-Gruppen praezentral-temporal auf, und zwar in verstärktem Maße dann, wenn die Kinder in einem emotionalen Zustand sind (GREY WALTER 1950). Oft genügt bei Kindern schon die Situation, die bei einer elektroencephalographischen Ableitung gegeben ist - das lange Stillsitzen bei geschlossenen Augen, das "Angebundensein" durch die Elektrodendrähte etc. - um sie zu irritieren; auch lassen sie sich ja überhaupt noch leicht-

ter und durch geringfügigere Anlässe in Wut bringen als Erwachsene.

Bei einem normalen Erwachsenen dagegen bedarf es schon ziemlich außergewöhnlicher Umstände, bis er in eine wirklich "blinde Wut" gerät, und im Experiment läßt sich das wohl kaum jemals bewerkstelligen.

Im Wach-EEG des Erwachsenen sehen wir in der Regel kaum Theta- und Delta-Wellen. Wo sie aber doch vorkommen, und zwar in Gruppen von hochamplitudigen Wellenfolgen vorwiegend temporal und praezentral, kann die betreffende Person eine Neigung zu Wutanfällen und aggressiven Handlungen haben, die über das noch als normal zu betrachtende Maß hinausgeht. So beobachtet man häufig bei aggressiven Psychopathen ein Auftreten solcher Theta-Gruppen (vgl. HILL 1944, WALTER 1950, FELDMANN 1952, JARVIS 1953). Elektroencephalographisch gesehen würde es sich in solchen Fällen, wo Theta-Wellen noch gruppenweise im Wach-EEG von Erwachsenen und von älteren Kindern häufig auftreten, um eine Verzögerung oder einen partiellen Ausfall bestimmter Hirnreifungsvorgänge handeln - natürlich vorausgesetzt, daß diese Wellenfolgen weder von Stoffwechselstörungen noch von einer organischen Hirnschädigung herrühren. Solche hochamplitudigen Theta- und Delta-Gruppen sind möglicherweise als Ausdruck einer autonomen Aktivität diencephaler Zentren anzusehen (FELDMANN), und aus ihrem Auftreten kann man schliessen, daß hemmende corticale Funktionen entweder noch nicht vorhanden sind (wie beim kleinen Kind), oder daß sie zeitweise - weil die Verbindung zwischen Cortex und tieferen Strukturen unterbrochen ist - keinen Einfluß haben, wie im Schlaf, unter bestimmten pharmakologischen Einwirkungen oder bei manchen cerebralen Prozessen. Wenn beim Erwachsenen auch in der Wach-Ableitung noch Theta-Wellen auftreten, so bedeutet das also, daß hier eine Regression auf eine ontogenetisch frühere Funktionsstufe, auf der die corticale Vorherrschaft über subcorticale Bereiche noch wenig stabil ist, vollzogen wird.

(Weitere Untersuchungen über Affekte und EEG: COHN 1946, REMY 1949, MONNIER 1950, HEATH 1955).

Wenn sich bei den Gefühls e r r e g u n g e n (Affekten) unter gewissen Bedingungen systematische elektroencephalographische Untersuchungen durchführen lassen, so scheinen sich die sogenannten Gefühls b e w e g u n g e n einer solchen Untersuchung

zu entziehen, denn sie lassen sich kaum experimentell auslösen und sie sind zu flüchtig, als daß sie sich in einer Versuchssituation mit genügender Konstanz reproduzieren und fassen ließen. Dennoch fehlt es auch hier nicht an Versuchen. So bediente sich z.B. J.FAURE (1950) der TAT- und Rorschach-Tafeln; den Vpn wurden während der EEG-Ableitung noch einmal alle diejenigen Tafeln gezeigt, bei denen sie während der vorangegangenen Testaufnahmen Schocks oder gefühlsbetonte Komplexantworten geliefert hatten. Die Kurve veränderte sich dabei je nach der affektiven Bedeutung, welche die Tafel für die Vp hatte. Tafeln mit einer beunruhigenden Bedeutung bewirkten eine Verminderung der Alpha-Aktivität, eine Vermehrung schneller Wellen und ein vermehrtes Auftreten langsamer Wellen. Genauere Angaben wurden hierzu nicht gemacht. In einer anderen Untersuchung (HOAGLAND 1938) wurden die Vpn in eine Unterhaltung über Geschehnisse aus ihrem Leben verwickelt, die, wie man aus der Anamnese wußte, für die Vp eine bestimmte Gefühlsbetonung hatten. Die Autoren verzeichneten bei den Unterhaltungen, deren Gegenstand bei der Vpn "Furcht, Ärger oder Scham" hervorrief, eine merkbliche Zunahme des Anteils langsamer Wellen gegenüber den Vergleichsableitungen, die bei indifferenten Gesprächen gemacht wurden. Hier sei auch noch eine Arbeit von M. KENNARD erwähnt, die eine positive Korrelation zwischen Rorschach-Faktoren, die Angst anzeigen, und schnellen Frequenzen im EEG, und weiterhin eine positive Korrelation zwischen aggressivem Verhalten, schlechter Gestaltbildung im Bender Gestalt Test und Theta-Aktivität im EEG ergab (KENNARD und Mitarb. 1955). Eine sichere Zuordnung bestimmter elektroencephalographischer Bilder zu bestimmten Gefühlsbewegungen konnte also nicht getroffen werden.

Aber auch über die Gefühlszustände, die in ihrer längeren Dauer ja eigentlich leichter zu fassen sein müßten, liegen keine elektroencephalographischen Beobachtungen vor, wenn man von einigen der leiblichen Gefühlszustände wie Hunger und Müdigkeit absieht, die aber nicht von der Gefühlsseite her untersucht wurden, sondern unter ihren physiologischen Aspekten.

Was sich bei den Affekten im EEG ausdrückt, steht möglicherweise in einem Zusammenhang mit vegetativen Veränderungen. Es sei hier auf den Zusammenhang zwischen beschleunigter Herz Tätigkeit und schnellen elektroencephalographischen Rhythmen (ROGER 1955),

zwischen erhöhtem Stoffwechsel (mit starker Produktion von CO_2 und anderen Stoffwechselprodukten) und schnellen Wellen im EEG (DARROW 1947), sowie zwischen Hypoglycaemie (die auch bei Emotionen zu beobachten ist) und dem Auftreten von Delta-Frequenzen (HOAGLAND 1938) hingewiesen.

Aber ebenso lassen sich die elektroencephalographischen Veränderungen in eine Beziehung zur Verschiebung der Bewußtseinslage setzen, die mit den Affekten einhergeht: die schnellen Rhythmen bei Schreck und Aufregung drücken das diesen Zuständen eigene Aus-der-Ruhe-Gebrachtsein aus, die langsamen Wellen, die sich bei aggressiven Menschen finden, dagegen eine Tendenz zu zeitweiligen Bewußtseinstrübungen.

7. Das EEG während hypnotischer Zustände.

Eine Reihe von Versuchen ging von der Frage aus, wieweit durch Hypnose ausgelöste psychische Vorgänge sich auch im EEG manifestieren.

Diese Versuche ergaben, daß der hypnotische Zustand als solcher sich elektroencephalographisch so gut wie gar nicht vom normalen Wachzustand unterscheidet (BARKER u. BURGWIN 1948 und 1949, FORD u. YEAGER 1948, LOOMIS, HARVEY u. HOBART 1936).

Ausgesprochene Veränderungen in Richtung auf das Schlaf-EEG zeigen sich in der Hypnose nur dann, wenn die Anweisungen des Hypnotiseurs ausdrücklich auf die Erreichung eines Schlafzustandes hindeuten. Wenn der Vp in der Hypnose vor dem eigentlichen Schlaf gesagt wird, sie werde nichts außer der Stimme des Hypnotiseurs hören, bringen auch lauteste Geräusche keine Veränderungen im EEG hervor, während die leisen Anweisungen des Hypnotiseurs eine Wirkung auf das EEG haben (BARKER u. BURGWIN 1948).

In der Hypnose vorgenommene Regressionen zu bestimmten früheren Lebensabschnitten aus dem Leben der Vp gehen nicht mit den entsprechenden elektroencephalographischen Veränderungen einher. So ließen FORD u. YEAGER zwei Patienten, bei denen eine Craniotomie durchgeführt worden war, in der Hypnose die Zeit vor der Operation und die damals bestehenden Beschwerden wiedererleben. Bei einer Vp traten Kopfschmerzen und eine rechtsseitige Hemianopsie wie

vor der Operation, bei der eine Cyste entfernt worden war, auf. Das EEG veränderte sich jedoch nicht in entsprechender Weise. Auch wenn in der Hypnose die Vp in ihre Kindheit zurückversetzt wird, lassen sich dabei keinerlei Veränderungen in Richtung auf das kindliche EEG feststellen; die Kurve unterscheidet sich hier ebenfalls nicht von dem vor der Hypnose abgeleiteten Wach-EEG (Mc CRANIE u. Mitarb. 1955).

Während der Zustand der hypnotischen Trance als solcher, sowie in der Hypnose ablaufende Träume oder Regressionen also keine Veränderungen im EEG bewirken, können vom Hypnotiseur suggerierte Veränderungen der emotionalen Lage und wahrscheinlich zum Teil auch suggerierte Wahrnehmungen sich im EEG äussern. So läßt sich bei Patienten, die unter krankhaften Angstzuständen leiden und bei denen wegen starker Muskelverkrampfungen gewöhnlich keine brauchbaren Ableitungen zu machen sind, in der Hypnose ein Zustand völliger Entspannung erzielen. Im EEG zeigt sich dies im Auftreten von Alpha-Aktivität und im Fehlen von Muskelpotentialen. Wenn abwechselnd die Befehle "entspannt" und "verkrampft" gegeben werden, zeigen sich in der Kurve jeweils die entsprechenden Veränderungen. Bei Menschen, die normalerweise entspannt sind und deren Ausgangs-EEG einen gut ausgeprägten Alpha-Rhythmus aufweist, bringt jedoch der Befehl "verkrampft" keine nennenswerten Veränderungen in der Ableitung hervor (FORD und YEAGER).

Wenn man der Vp in der Hypnose sagt, daß sie jetzt dieses oder jenes sehen werde, erfolgt eine Blockierung des Alpha-Rhythmus (BARKER und BURGIN). Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß auch im normalen Wachzustand schon die bloße Erwartung, etwas zu sehen, manchmal mit einer Alpha-Blockierung einhergehen kann. In einem anderen Versuch (LUNDHOLM u. LÖWENBACH 1942) wurde den Vpn unter der Hypnose gesagt, daß sie ein sehr helles Licht durch die geschlossenen Augenlider wahrnehmen; dabei veränderte sich der Alpha-Rhythmus nicht.

Bei suggerierter Blindheit in der Hypnose ergaben verschiedene Untersuchungen voneinander abweichende Ergebnisse. LOOMIS und seine Mitarbeiter, welche die Augen ihrer hypnotisierten Vp mit Klebestreifen offenhielten und dann abwechselnd sagten, daß sie nun blind oder sehend sei, beobachteten bei dem Befehl "blind" jedesmal Gruppen von Alpha-Wellen, die bei "sehen" regelmässig wieder verschwanden. Eine andere Versuchsanordnung wurde von FORD u. YEAGER sowie von LUNDHOLM u. LÖWENBACH gewählt: während

die hypnotisierten Vpn die Augen geschlossen hielten, sagten sie ihnen, daß sie blind wären, und ließen sie dann die Augen öffnen. Dabei wurde nun die Alpha-Aktivität blockiert wie bei jedem sehenden Menschen. Dies scheint mit den Ergebnissen des Versuchs von LOOMIS in Widerspruch zu stehen; wenn man sich jedoch daran erinnert, daß bei einseitig blinden Menschen auch dann eine Alpha-Blockierung auftritt, wenn nur das blinde Auge geöffnet wird, während bei beiderseitig blinden Menschen die Alpha-Aktivität beim Öffnen der Augen keine Änderung erfährt (OSTOW), erscheinen die Versuchsergebnisse von LUNDHOLM u. LÖWENBACH in einem anderen Licht. Denn die Alpha-Blockierung, die auch in der hypnotischen Blindheit bei Augenöffnen erfolgt, kann möglicherweise als bedingter Reflex gedeutet werden, der sich durch das gewohnte gemeinsame Auftreten von Augenöffnen und Lichtempfindung gebildet hat und der auch während der relativ kurzen Zeit der hypnotischen Blindheit weiterbesteht. Die Versuchsanordnung von LOOMIS, bei der die Augen der Vp immer offengehalten wurden, schließt diesen Effekt aus und ergibt deswegen vielleicht die gültigeren Resultate.

In einem anderen Versuch zeigte sich auch dann, wenn man ein helles Licht auf die geschlossenen Lider der hypnotisch blinden Vp richtete, eine Blockierung des Alpha-Rhythmus (FORD u. YEAGER). Jedoch darf man dabei nicht vergessen, daß auch bei der Ableitung unter Standardbedingungen noch geringe Lichtintensitäten, die keine bewußte Lichtempfindung mehr hervorrufen, mit einer Alpha-Blockierung im EEG einhergehen können.

Die Frage, ob mit den in der Hypnose hervorgerufenen Bewußtseinsveränderungen auch die entsprechenden elektroencephalographischen Veränderungen auftreten, kann also nach Prüfung der bisher vorliegenden Versuchsergebnisse nicht eindeutig entschieden werden. Während eine Entspannung, die etwa bei Patienten mit Angst- oder Erregungszuständen durch die Hypnose erreicht werden kann, sich mit Sicherheit im EEG ausdrückt (in einem besser ausgeprägten Alpha-Rhythmus und im Fehlen von Muskelaktionspotentialen), zeigt sich bei Träumen in der Hypnose überhaupt keine elektroencephalographische Veränderung gegenüber dem Wachzustand. Bei hypnotisch bedingten "Wahrnehmungen" der Vp ergaben die verschiedenen Versuche keine einheitlichen elektroencephalographischen Reaktionen; in manchen Versuchen ließ sich eine Alpha-Blockierung beobachten, in anderen wieder nicht. Ebenso war es bei den Erschei-

nungen, die bei hypnotisch bedingter Blindheit beobachtet wurden.

Welche Resultate man im einzelnen Fall erhält, scheint also in einem hohen Maße von den Versuchsbedingungen abzuhängen, und möglicherweise auch von der jeweiligen Vp und dem Grad ihrer Suggestibilität.

Beim autogenen Training findet man während der anfänglichen Konzentration auf die Erreichung des Ruhe-, Schwere- und Wärme-erlebnisses eine Alpha-Blockierung, wie sie sich allgemein bei Konzentrationsvorgängen beobachten läßt. Wenn das Stadium des Wärmeerlebnisses erreicht ist, zeigt sich im EEG eine Alpha-Aktivierung, die durch Erhöhung des Alpha-Index, Vergrößerung der Amplituden und verstärkte Synchronisation gekennzeichnet ist. Dies entspricht den Befunden, die man ganz allgemein bei Zuständen weitestgehender körperlich-geistiger Entspannung antrifft, wie oft kurz vor dem Einschlafen. Während der anschliessenden Fixierübungen sahen FRANEK u. THREN in der frontalen Ableitung ihrer Vpn Wellenfolgen von etwa 6/sec., die sie als Ausdruck einer Bewußtseinseinnengung deuteten. (FRANEK u. THREN 1948, ähnlich ROHMER u. ISRAEL 1957).

Auch über die Yoga-Versenkung liegt eine elektroencephalographische Untersuchung vor. Dem Inder N. DAS war es möglich, an sieben besonders qualifizierten Personen ("heiligen Männern" und "heiligen Frauen" Indiens) während ihrer Meditationen elektroencephalographische Ableitungen (zusammen mit EKG und EMG) vorzunehmen.

In der Meditation durchläuft der Yogin mehrere Stadien, die als dhāraṇā (Fixierung der Aufmerksamkeit), dhyāna (Meditation im engeren Sinn) und samādhi (Ekstase) voneinander unterschieden werden. Die letzte Stufe wird allerdings nur in seltenen Fällen erreicht; sie soll subjektiv als ein Heraustreten aus der eigenen Körperlichkeit und ein Einswerden mit dem Gegenstand der Meditation erlebt werden, objektiv läßt sich völlige Bewegungslosigkeit sowie das Fehlen jeglicher Reaktion auf Reize des Außenwelt verzeichnen.

Das EEG zeigte zunächst ähnliche Bilder wie beim autogenen Training. Im Verlauf der Meditation erschienen jedoch ausgeprägte Veränderungen, nämlich:

1. Eine Beschleunigung des Alpha-Rhythmus um 1-3/sec. bei einer Verminderung der Amplitudenhöhen; Auftreten schneller Wellen (15, 20, 30/sec.).
2. Auftreten von Beta-Rhythmus in der praezentralen Region.
3. Auftreten von generalisierter schneller Aktivität mit niedrigen Amplituden um 20-30/sec., vereinzelt sogar um 40/sec.
4. Während der Ekstase können die Amplituden dieser generalisierten schnellen Rhythmen allmählich anwachsen und schließlich bis zu 50 Mikrovolt erreichen.
5. Nach Beendigung der Meditation erscheint wieder ein Alpha-Rhythmus, der zunächst oft noch verlangsamt ist.

Die in den ersten Stadien der Meditation beobachteten Veränderungen unterscheiden sich im Großen und Ganzen nicht von denen, die man auch in entsprechenden westlichen Untersuchungen schon gesehen hat. Anders ist es mit den elektroencephalographischen Veränderungen, die während der Yoga-Ekstase auftreten. Diese schnellen Rhythmen mit den ungewöhnlich hohen Amplituden zeigen einen Zustand höchster corticaler Erregung an, der in Zusammenhang mit der aufs äusserste gesteigerten, auf ein einziges Objekt ausgerichteten Konzentration, die diesen Zustand kennzeichnet, stehen muß. Ähnliche elektroencephalographische Bilder sieht man, wenn die Reticulärformation des Hirnstamms elektrisch stimuliert wird, wobei ebenso wie in der Yoga-Ekstase gleichzeitig der Reizeinstrom von der Peripherie blockiert wird. Damit sind zugleich die Theorien widerlegt, welche die Yoga-Ekstase auf Grund ihrer äusseren Merkmale (Bewegungslosigkeit, Nichtansprechbarkeit, Schmerzunempfindlichkeit usw.) dem Schlaf, der Lethargie, oder dem Coma gleichzusetzen versuchten (DAS u. GASTAUT 1957).

Kapitel V

DIE INTRAINDIVIDUELLE VARIABILITÄT DES EEG

Die im vorigen Kapitel geschilderten Versuche waren davon ausgegangen, daß bei allen normalen Vpn unter gleichen Voraussetzungen ein annähernd gleiches EEG zu beobachten ist, so z.B. ein Alpha-Rhythmus von 8-12/sec. bei Entspannung; Blockierung des Alpha-Rhythmus bei Augenöffnen, Anspannung der Aufmerksamkeit, usw. Diese Übereinstimmung ist jedoch keinesfalls als vollständige Gleichförmigkeit der Kurven zu verstehen. Sondern die Kurve jeder Vp unterscheidet sich von anderen Kurven in charakteristischer Weise, nämlich durch konstante Merkmale wie Frequenzen, Amplitudenhöhen und Wellenformen, sowie nach dem Ausmaß, in dem unter Standardbedingungen der Alpha-Rhythmus auftritt ("Alpha-Index"). Ein verschiedenartiges Gesamtbild ergibt sich auch je nach der Stabilität oder Labilität der Grundlinie, dem Fluktuieren von Frequenz und Amplitude und schließlich je nach der Verteilung der verschiedenen Merkmale über die 6, 8 oder mehr einzelnen "Zeilen" der Kurve, welche die Ableitungen von verschiedenen Punkten des Schädels registrieren. Man hat z.B. ein völlig anderes Bild vor sich, je nachdem, ob der Alpha-Rhythmus nur occipital auftritt, oder ob er auch auf die mittleren und vorderen Hirnabschnitte übergreift.

So ist es also durchaus möglich, die EEGs verschiedener Vpn voneinander zu unterscheiden. Einen Beweis hierfür erbrachten TRAVIS u. GOTTLÖBER (1936) mit folgendem Versuch: sie entnahmen 44 normalen EEG jeweils einen grösseren Ausschnitt, hingen alle diese Ausschnitte nebeneinander auf und ließen nun von 4 EEG-Experten zu jedem der Ausschnitte die entsprechende Kurve aus den 44 vorhandenen Kurven heraussuchen. Dieser Versuch wurde zweimal durchgeführt, sodaß sich insgesamt 352 (8 x 44) Zuordnungen ergaben. 4,5% an Zufallstreffern wären zu erwarten gewesen, die Zuordnungen waren jedoch zu 94% richtig!

Ebenso wie man einzelne Teile der gleichen Kurve als zusammengehörig erkennen kann, ist es auch möglich, EEGs der gleichen Vp, die zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen wurden, einander zuzuordnen (TRAVIS u. GOTTLÖBER 1937). Darüber hinaus kann man, bei einiger Übung auf diesem Gebiet, eine anonym vorgelegte Kurve einer

bestimmten Person zuschreiben, wenn man von dieser früher schon mehrere Ableitungen gesehen hat. Dies bereitet vor allem dann keine Schwierigkeiten, wenn in einer Versuchsreihe bei einer begrenzten Anzahl von Vpn über einen längeren Zeitraum hinweg regelmäßig Ableitungen gemacht werden, sodaß dem Auswerter das charakteristische Kurvenbild jeder einzelnen Vp durch die häufige Wiederholung vertraut ist. Es sind dabei nicht so sehr irgendwelche hervorstechende Einzelmerkmale, die das Wiedererkennen einer Kurve ermöglichen, und es ist auch gar nicht erforderlich, daß man genau feststellt, welche Frequenz der Alpha-Rhythmus hat, wie groß die Amplitudenhöhe ist usw. Entscheidend ist vielmehr das Gesamtbild, das "pattern" der Kurve, das sich aus dem Miteinander und Zueinander der einzelnen Merkmale ergibt.

Die Beobachtung, daß jeder Mensch sein eigenes charakteristisches EEG hat, führte in der EEG-Forschung schon frühzeitig zu der Frage, ob bestimmten konstanten EEG-Merkmalen bestimmte psychologische Eigenschaften und Fähigkeiten entsprechen. (Im vorigen Kapitel handelte es sich dagegen um die Frage, welche Beziehungen zwischen hirnelektrischer Aktivität und gleichzeitig ablaufenden psychologischen Vorgängen aufgefunden werden können). Mit der Untersuchung der möglichen Zusammenhänge zwischen konstanten EEG-Phänomenen und psychologischen Phänomenen befassen sich Arbeiten über 1. Intelligenz, 2. Typus, und 3. Verhaltensstörungen.

1. Die Beziehungen zwischen EEG und Intelligenz.

Die meisten Arbeiten, die nach einer Beziehung zwischen EEG und Intelligenz suchen, gehen vom Alpha-Rhythmus aus. Die Frequenz des Alpha-Rhythmus ist beim Erwachsenen in der Regel konstant; man kann sich unter normalen Umständen darauf verlassen, daß jemand, der bei der ersten Ableitung einen Alpha-Rhythmus von 9,5/sec. hatte, auch bei allen weiteren Ableitungen - sei es nach Tagen, Wochen oder Monaten - immer wieder Alpha-Wellen von der gleichen Frequenz hervorbringen wird, natürlich vorausgesetzt, daß keine organische Schädigung und keine chronische Einwirkung von Pharmaka dazugekommen ist. Als maximale Abweichung über größere Zeiträume wurde $\pm 0,5-1/\text{sec.}$ festgestellt (ENGEL und Mitarb. 1947). Auch der Alpha-Index (prozentualer Anteil der Alpha-Wellen an der Gesamtzeit der occipitalen Ableitung) ist bei gleichbleibenden Be-

dingungen bis zu einem gewissen Grad konstant.

Es sei hier noch einmal daran erinnert, daß beim Kind zum ersten Mal im Alter von ungefähr 3 Monaten ein occipitaler Rhythmus zu beobachten ist: er hat hier eine Frequenz von 3-4/sec. und tritt zunächst nur sporadisch auf. Mit zunehmendem Alter des Kindes steigt die Frequenz allmählich an, bis sie etwa bei den Zehnjährigen die Erwachsenenwerte erreicht und von da an konstant bleibt. Jedoch entwickelt sich der Alpha-Rhythmus nicht bei allen Kindern im gleichen Tempo, sondern man findet in jeder einzelnen Altersstufe eine ziemlich breite Streuung der Alpha-Frequenzen. Hier ergibt sich nun die Frage, ob das Anwachsen der Alpha-Frequenz beim Kind vielleicht nicht so sehr in Zusammenhang mit dem chronologischen Alter als mit dem Intelligenzalter erfolgen sollte.

SCHÜTZ und MÜLLER-LIMMROTH (1952) untersuchten eine Gruppe von 50 geistig rückständigen Kindern und fanden, dass bei 34 dieser Kinder die Ausprägung der occipitalen Alpha-Wellen im Vergleich zum EEG normaler Kinder um mehrere Jahre zurückgeblieben erschien. Bei 13 Kindern fehlte der Alpha-Rhythmus vollständig, an seine Stelle traten entweder Beta-Frequenzen oder Wellen von 4-6/sec. Nur 3 von den 50 Kindern hatten ein ihrem Alter entsprechendes EEG. In dieser Untersuchung wurde also festgestellt, daß geistig rückständige Kinder vorwiegend unentwickelte Hirnstrombilder haben, es wurde aber nicht im einzelnen gesagt, ob die relativ "guten" EEG in Verbindung mit einem höheren IQ, die schlechter ausgeprägten oder langsameren Alpha-Rhythmen in Verbindung mit einem niedrigeren IQ auftraten. Dieser Frage ging KREEZER (1936, 1937, 1938, 1950) in seinen Untersuchungen an erblich Schwachsinnigen nach. Er fand keine echte Korrelation zwischen Intelligenzalter einerseits und Alpha-Index oder Alpha-Amplitude andererseits, jedoch konnte er bei seinen Vpn eine positive Korrelation zwischen Intelligenzalter und Alpha-Frequenz feststellen, aber nur solange, als ein bestimmtes Intelligenzalter nicht überschritten wurde. In seinen ersten Untersuchungen fand KREEZER das Intelligenzalter von 5 Jahren als diese Grenze, später das von 8 Jahren. Auf dieser Stufe - Intelligenzalter von 8 Jahren - ließ sich ein ziemlich abrupter Übergang zu durchschnittlichen Alpha-Frequenzen, die sich von denen normaler Personen so gut wie nicht mehr unterscheiden, feststellen. Während man bei normalen Kindern gerade im entsprechenden Lebensalter - um das 8. Jahr - zum ersten Mal

"erwachsene" Alpha-Rhythmen ableiten kann, erfolgt also bei den Schwachsinnigen dieser Übergang unabhängig vom Lebensalter bei der Erreichung des I n t e l l i g e n z alters von 8 Jahren.

Eine interessante Vergleichsmöglichkeit hierzu bieten die von GANGLBERGER (1954) mitgeteilten Beobachtungen über einen Fall von Hochbegabung. Es handelt sich hier um ein fünfjähriges Mädchen, dessen EEG einen gut ausgeprägten, bis auf die vorderen Hirnregionen übergreifenden Alpha-Rhythmus von 9-10/sec. zeigt. Theta-Wellen, die eigentlich für dieses Alter charakteristisch sind, treten nur ganz vereinzelt auf. Das ganze Bild entspricht dem EEG eines 8- bis 10-jährigen Kindes, könnte aber selbst für einen Erwachsenen noch als "normales" EEG gelten. - Mit dem Bühler-Hetzer-Test wurde bei dem Mädchen ein Entwicklungs-Quotient von 1,37 ermittelt (Entwicklungsalter 6;11, Lebensalter 5;05). Die Gipfelpunkte des Entwicklungsprofils lagen bei verbalem Lernen und praktischer Intelligenz. Die verbalen Gedächtnisaufgaben wurden bis zur 8-Jahresreihe bewältigt; die Aufgaben zur praktischen Intelligenz, in denen es um das Erfassen der Zusammenhänge von Ursache und Wirkung, von Mittel und Zweck geht, sogar bis einschließlich der 9-Jahresreihe. Bei den Aufgaben zur theoretischen Intelligenz kam das Mädchen noch etwas über die 6-Jahresreihe hinaus, doch musste man bei der Gesamtbewertung berücksichtigen, daß hier die Aufgaben für die höheren Altersstufen Begriffe voraussetzen, über die ein noch so begabtes 5-jähriges Kind einfach noch nicht verfügt.

Der geistige Entwicklungsvorsprung dieses Kindes steht sicher in einem Zusammenhang mit dem für sein Alter ungewöhnlichen EEG. Was beiden Erscheinungen zugrundeliegt, ist wohl ein beschleunigter Verlauf der morphogenetischen Hirnreifungsvorgänge. - Aus den reinen Intelligenzaufgaben des Bühler-Hetzer-Testes, die das kleine Mädchen löste, kann man auf ein Intelligenzalter von ungefähr 8 Jahren schließen - und das ist wiederum d a s Intelligenzalter, von dessen Erreichung ab auch KREEZERS geistig zurückgebliebene Vpn mit höherem Lebensalter einen "erwachsenen" Alpha-Rhythmus zeigten.

EUZIERE (1950) äusserte in einem ähnlichen Zusammenhang die Vermutung, daß erst ein gewisser Reifegrad in der Entwicklung der corticalen Rhythmen erreicht sein muß, ehe die Funktionen der Integration und Hierarchisation der Denkprozesse sich entfalten können.

Anscheinend liegt der kritische Übergang da, wo beim Kind zum ersten Mal der Alpha-Rhythmus in seiner endgültigen Frequenz auftritt; das entsprechende Intelligenzalter beträgt ungefähr 8 Jahre.

Bei älteren Kindern konnte man einen Zusammenhang zwischen Frequenz des Alpha-Rhythmus und Intelligenz nicht mehr auffinden. KNOTT (1950) untersuchte je eine Gruppe normaler achtjähriger und zwölfjähriger Kinder. Während bei den Achtjährigen eine positive Korrelation (0,50) zwischen Intelligenzalter und Frequenz des Alpha-Rhythmus bestand, betrug bei den Zwölfjährigen diese Korrelation nur 0,12, war also nicht signifikant.

Auch SOLOMON und Mitarb. (1944) konnten bei 13- bis 16-jährigen Jungen keine Beziehung zwischen Intelligenz und EEG-Merkmalen feststellen. KNOTT meint, das unterschiedliche Ergebnis bei seinen zwei verschiedenen Altersgruppen, den Achtjährigen und den Zwölfjährigen, rühre vielleicht daher, daß die Veränderungen, die in der Pubertät im Organismus vor sich gehen, auch den Alpha-Rhythmus soweit beeinflussen, daß die Beziehung zwischen Alpha-Frequenz und Intelligenz verdeckt wird.

Wie steht es aber dann beim Erwachsenen? SHAGASS (1946) verglich die Ergebnisse des R.C. Air Force Classification Test (eines Intelligenztests) von 1100 jungen Männern mit deren EEG-Kurven. Bei der Korrelation der zahlenmässig festgelegten Testergebnisse mit den Frequenzen der occipitalen Alpha-Rhythmen zeigten die hohen und die niedrigen Alpha-Frequenzen eine Tendenz, in Verbindung mit den schlechteren Testergebnissen aufzutreten, während die mittleren Frequenzen mehr mit den besseren Testergebnissen einhergingen.

Es scheint sich also tatsächlich so zu verhalten, daß entwicklungsbedingtes Ansteigen der Alpha-Frequenz und Zunahme des Intelligenzalters nur bis zu einem gewissen Punkt (der nach KREEZERS Untersuchungen ungefähr beim Intelligenzalter von 8 Jahren zu liegen scheint) Hand in Hand gehen. Sobald das Intelligenzalter weiter ansteigt, läßt sich eine eindeutige Beziehung zwischen Intelligenz und Alpha-Rhythmus nicht mehr feststellen. Ein weiterer Anstieg der Alpha-Frequenz bedeutet dann, wie die Untersuchung von SHAGASS zeigt, durchaus nicht mehr ein höheres Intelligenzniveau.

Es wurde auch die Frage aufgeworfen, ob man vielleicht das EEG Erwachsener zwar nicht zur Intelligenz im allgemeinen, dafür aber zu einzelnen Fähigkeiten in Beziehung setzen kann. Ein Versuch, technische Begabung mit bestimmten EEG-Merkmalen in Zusammenhang

zu bringen, wurde von LIBERSON (1951) unternommen. Er folgerte aus seinen bei der Berufseignungsprüfung (mit EEG-Untersuchung) von Eisenbahnern gemachten Erfahrungen, daß Personen mit "dominierendem", also kontinuierlich auftretendem Alpha-Rhythmus solchen mit "intermittierendem", unregelmässig ausgeprägtem Alpha-Rhythmus an technischer Begabung überlegen sind.

Wie problematisch es aber ist, den Grad der Ausprägung des Alpha-Rhythmus zu einer bestimmten Intelligenzhöhe oder Intelligenzrichtung in Beziehung setzen zu wollen, zeigt die in der EEG-Praxis häufig gemachte Erfahrung, daß gerade auch Schwachsinnige oft einen sehr gut ausgeprägten Alpha-Rhythmus haben, während bei hochbegabten Menschen, vorzugsweise bei Angehörigen geistiger Berufe, wie schon BERGER feststellte, in vielen Fällen gar kein oder nur ein recht spärlicher Alpha-Rhythmus abgeleitet werden kann. Der bestmögliche Alpha-Rhythmus tritt ja bei einem Minimum an exterozeptiven und interozeptiven Reizen auf, und ein solcher Zustand psychischer Passivität ist bei vielen Schwachsinnigen geradezu als Dauerzustand gegeben; "Intellektuelle" dagegen können sich, jedenfalls in der Versuchssituation, oft nicht richtig körperlich und geistig entspannen, und so tritt bei ihnen nur wenig Alpha-Rhythmus auf.

Zusammenfassend läßt sich über das Kapitel EEG und Intelligenz sagen, daß nach den bisher vorliegenden Forschungsergebnissen eine Korrelation lediglich zwischen der Frequenz des Alpha-Rhythmus und dem Intelligenzalter angenommen werden kann, aber auch das nur soweit, als das Intelligenzalter die 8-Jahresgrenze nicht überschreitet. Bei höherem Intelligenzalter scheinen zu viele andere Faktoren die Alpha-Frequenz mitzubestimmen, als daß noch ein Zusammenhang mit der Intelligenz festgestellt werden könnte. Der Alpha-Rhythmus ist ja wohl mehrfach determiniert, und nicht alle an seiner Entstehung und besonderen Ausformung beteiligten Faktoren sind bisher bekannt. So steht man bei allen Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen EEG und Intelligenz eigentlich vor dem Problem, zwei mehr oder weniger Unbekannte zueinander in Beziehung zu setzen. Denn auch der Begriff der Intelligenz ist ja nicht eindeutig bestimmt, und besonders ihr zahlenmässiger Ausdruck als Intelligenzalter oder Intelligenzquotient ist umstritten. So ist es nicht verwunderlich, daß die Suche nach einer zahlenmässigen Entsprechung zwischen IQ und einzelnen EEG-Merkmalen nur eine geringe Ausbeute ergab.

2. EEG und psychologische Typen.

Die Untersuchungen über EEG und psychologische Typen lassen sich je nach ihren Ansatzpunkten in drei Untergruppen einteilen, und zwar finden wir:

- a) Arbeiten, welche die Unterscheidung zwischen Extraversion und Introversion oder Schizothymie und Cyclothymie zugrunde legen und dann nach dem dazugehörigen Hirnstrombild suchen;
- b) Arbeiten, die vom Hirnstrombild ausgehen. Man faßt hier EEG-Kurven, die einander ähnlich sind, in Gruppen zusammen, um dann nach psychologischen Merkmalen zu suchen, die einer jeden Gruppe gemeinsam sind, sie aber von anderen Gruppen unterscheiden;
- c) Arbeiten, die dem Zusammenhang zwischen dem Vorstellungsmodus und der Art der elektroencephalographischen Reaktion auf Sinnesreize nachgehen.

Zu a). LEMERE (1936) berichtet, daß er bei manisch-depressiven Patienten vorwiegend gut ausgeprägte Alpha-Rhythmen beobachten konnte, während bei Schizophrenen meist ein schlecht ausgeprägter oder auch gar kein Alpha-Rhythmus zu finden war. Nach seiner Ansicht soll sich dieser Unterschied nicht durch einen mehr oder weniger guten Entspannungszustand bei Schizophrenen und Manisch-Depressiven erklären lassen, da hypomanisch-agitierte Patienten einen ebenso gut ausgeprägten Alpha-Rhythmus aufweisen wie die völlig ruhigen Depressiven; auch der Grad der Gedankentätigkeit dürfe im Hinblick auf die gleichartige Ausprägung der Alpha-Rhythmen bei Manikern und bei Depressiven nicht als ausschlaggebend betrachtet werden. Dagegen bestehe ein Zusammenhang zwischen "gutem" Alpha-Rhythmus und der affektiven Ausdrucksfähigkeit des zirkulären Irreseins, und zwischen "schlechtem" Alpha-Rhythmus und der affektiven Versandung der Schizophrenen. Normale Schizothyme und Cyclothyme sollen sich in ihren EEG-Kurven ebenso voneinander unterscheiden wie Schizophrene und Manisch-Depressive. Es scheint sich bei LEMERES Ergebnissen jedoch um nicht viel mehr als um Vermutungen zu handeln, denn sein Versuchsmaterial ist nicht sehr umfangreich (26 Vpn), und zahlenmäßige Angaben über die Übereinstimmung der verschiedenen Alpha-Typen mit den psychologischen Typen werden nicht gemacht.

Aber möglicherweise besteht stattdessen ein Zusammenhang zwischen dem sogenannten physiologischen Tonus der Intelligenz, der die Konzentrationsfähigkeit, Aufmerksamkeitsspannung etc. weitgehend mitbestimmt, und dem EEG in seiner allgemeinen Erscheinungsform, in dem sich ja besonders der Grad der Bewußtheit und habituellen Wachheit ("Vigilität") eines Menschen spiegelt; dieser Zusammenhang läßt sich jedoch kaum in Korrelationsziffern fassen.

GOTTLOBER (1938) unternahm im Anschluß an LEMERES Arbeit einen Versuch mit 67 normalen Vpn, die sich nach dem Nebraska Personality Inventory und laut psychiatrischen und psychologischen Beurteilungen als "extrem extravertiert" (39 Vpn) und "extrem introvertiert" (28 Vpn) erwiesen hatten. Wenn man nun die EEG-Kurven dieser Vpn in zwei Gruppen einteilte, je nachdem, ob der Anteil der Alpha-Wellen an der occipitalen Gesamtableitung 0 bis 50% oder 50 bis 100% betrug, ergaben sich folgende Zuordnungen: von den extravertierten Vpn fielen 18% in die Gruppe mit dem niedrigeren, 82% in die Gruppe mit dem höheren Alpha-Index; von den introvertierten Vpn hatten 43% einen Alpha-Index zwischen 0 und 50, 57% einen solchen zwischen 50 und 100.

Demnach hatten sowohl bei den Extravertierten als auch bei den Introvertierten mehr Vpn einen Alpha-Index über 50 als einen solchen unter 50. LEMERES Behauptung, daß Extraversion bzw. Cyclothymie und "guter" Alpha-Rhythmus, Introversion bzw. Schizothymie und "schlechter" Alpha-Rhythmus meistens zusammengehen, hatte sich in GOTTLÖBERS Untersuchung also nur zur Hälfte bestätigt, nämlich insofern, als bei den Extravertierten wirklich bedeutend öfter ein hoher als ein niedriger Alpha-Index gefunden wurde (82% zu 18%; Unterschied statistisch gesichert). Bei den Introvertierten jedoch herrschten keinesfalls die schlechter ausgeprägten Alpha-Rhythmen vor, sondern ebenso wie bei den Extravertierten - wenn auch in geringerem Ausmaß - die mit einem Alpha-Index von 50 bis 100 (57% zu 43%; Unterschied statistisch nicht gesichert).

Aber auch die Beziehung zwischen Extraversion und hohem Alpha-Index ist anfechtbar. Denn EEG-Untersuchungen an einer sehr breiten, unausgewählten Bevölkerungsgruppe haben gezeigt, daß 64% aller Erwachsenen einen Alpha-Index von mehr als 50 haben. GOTTLÖBERS Ergebnisse weichen von dieser Zahl so wenig ab, daß die Zufallsgrenze nicht überschritten wird (HENRY u. KNOTT 1941).

Zu b). Die Methode, eine schon feststehende psychologische Typeneinteilung zugrundezulegen und nach den entsprechenden EEG-Typen zu suchen, scheint also zu keinen nennenswerten Ergebnissen zu führen. Es wurde daher auch versucht, den umgekehrten Weg zu gehen und das EEG-Pattern als Ausgangspunkt zu nehmen.

So trafen SAUL, DAVIS und DAVIS (1949) eine Einteilung der EEG-Kurven von 139 Patienten, die am Institute for Psychoanalysis in Chicago behandelt wurden, nach übereinstimmenden Merkmalen. Sie

fanden, daß sich drei große Gruppen ergaben, und weiterhin, daß zum gleichen EEG-Typ gehörende Vpn auch gewisse psychologische Züge gemeinsam hatten.

Die drei Gruppen waren:

- 1.) EEG vom A-Typ. Regelmässiger Alpha-Rhythmus, sehr hoher Alpha-Index. Diese Patienten waren vorwiegend passive Naturen mit ausgeprägter Bereitschaft zur Unterordnung; Gefahren, Anstrengungen und verantwortungsvolle Stellungen oder Aufgaben suchten sie nach Möglichkeit zu vermeiden.
- 2.) EEG vom B-Typ. Wenig Alpha-Rhythmus, niedrige Spannungsproduktion; Vorherrschen von schnellen Frequenzen (Beta-Wellen von 14-20/sec. mit Übergang zu noch schnelleren Beta-Wellen). Pat. mit einem solchen EEG erwiesen sich meistens als ausgesprochen aktiv, sie waren durch Unabhängigkeitsstreben, Tatendrang und Herrschsucht gekennzeichnet (übrigens wiesen bei der untersuchten Patientengruppe vorwiegend Frauen diesen Typ auf).
- 3.) EEG vom M (= mixed) - Typ. Unregelmässiges dysrhythmisches EEG. Meist wenig Alpha-Rhythmus, stattdessen Wellen schnellerer Frequenzen. Auch der Alpha-Rhythmus ist überdurchschnittlich schnell. Ein derartiges EEG wurde bei aggressiven, anspruchsvollen, ungeduldigen, meist irgendwie enttäuschten Patienten, und zwar wiederum meistens bei Frauen, gefunden. Je stärker die erwähnten Züge ausgeprägt waren, desto größer war die Wahrscheinlichkeit, daß im EEG vorwiegend Wellen schneller Frequenzen und nur wenig Alpha-Aktivität auftraten. Je schwächer die aggressiven Tendenzen waren bzw. je weniger sie offen ausgelebt wurden, desto eher fand man einen höheren Alpha-Index und einen langsameren Alpha-Rhythmus.

Auch GASTAUT (1951, 1954) beschreibt drei EEG-Syndrome, die mit den drei EEG-Typen von SAUL, DAVIS und DAVIS bis zu einem gewissen Grad übereinstimmen. Unterschiede ergeben sich aber daraus, daß GASTAUT seine Untersuchungen vorwiegend an psychisch Gesunden durchführte, während SAULS Patienten aus dem Institute for Psychoanalysis ja sicher zum Teil schon Grenzfälle darstellten. Außerdem bemüht sich GASTAUT darum, durch neurophysiologische Deutungen eine Brücke zwischen den elektroencephalographischen Erscheinungen und ihren psychologischen Entsprechungen herzustellen: er nimmt

an, daß tiefe Strukturen - insbesondere die reticuläre Formation des Hirnstammes - einen regulierenden Einfluß auf das EEG haben, der über ein diffuses corticales Projektionssystem wirksam wird. Dieses diffuse Projektionssystem scheint auch eine ausschlaggebende Rolle beim Zustandekommen der verschiedenen Bewußtseinszustände zu spielen. Daraus ließe sich die Beziehung, die zwischen Bewußtseinszustand und EEG besteht, verstehen. Über die Bedeutung der verschieden hohen Frequenzen, die im EEG verschiedener Personen vorherrschend sein können, sagt GASTAUT: "Im Wachzustand entsprechen schnelle und schwache Background-Rhythmen im allgemeinen kurzen, amplitudenniedrigen Erregbarkeitszyklen und (damit) auch einer Eignung des betreffenden Systems von Nervenzellen, schnell und vollständig auf rasch aufeinanderfolgende Erregungen zu reagieren. Langsame, starke Background-Rhythmen dagegen entsprechen langen amplitudenhohen Erregbarkeitszyklen sowie Systemen, die für die Weiterleitung rasch eintreffender Signale ungeeignet sind." ¹⁾

Das würde also bedeuten, daß Menschen mit schnellem Grundrhythmus über mehr neuronale Funktionsgruppen verfügen und somit mehr "Informationen" aus der Umwelt aufnehmen können als Menschen mit langsamem Grundrhythmus.

GASTAUTS drei EEG-Syndrome sind:

- a) Syndrom der Hypoexcitabilität. Langsamer, gut ausgeprägter Alpha-Rhythmus von 8-9/sec., keine Beta-Wellen. Keine desynchronisierten Intervalle, wenig Modulierung der Amplitudenhöhe. - Dies weist auf eine lange Erholungs- und Wiederherstellungsphase im neuronalen Erregbarkeitszyklus, und auf große Gruppen von synchron funktionierenden Elementen hin. Ein solches EEG findet man bei ruhigen Menschen, die auch relativ langsam wahrnehmen.
- b) Syndrom der Hyperexcitabilität. Schwach ausgeprägte schnelle Wellen: Alpha-Wellen von 11-13/sec. und Beta-Wellen von 15-20/sec., in kleinen Gruppen angeordnet. Dazwischen ist das EEG völlig desynchronisiert. - Dies bedeutet kurze Erholungsphasen im neuronalen Erregbarkeitszyklus und eine Tendenz zur Bildung vieler kleiner Gruppen von synchron

1) GASTAUT, H., in "Brain Mechanisms and Consciousness" S.269 (Herausgeber J.F.Delafréne)

funktionierenden Elementen. Als psychische Entsprechung findet man Hyperaktivität und eine Übersteigerung der perceptiven Funktionen.

- c) Syndrom der Instabilität. Langsame (Theta-) und schnelle (Beta-) Frequenzen treten vor dem Hintergrund eines Alpha-Rhythmus von 9-11/sec. auf. Dies zeigt eine mangelnde Stabilität in der Regulation der corticalen Erregbarkeit, also ein ständiges Schwanken zwischen hoher und niedriger Erregbarkeit, an. Menschen mit einem solchen EEG sind gekennzeichnet durch psychomotorische Wendigkeit und geradezu paroxysmale Lebhaftigkeit ihrer Reaktionen. (Als beispielhaft für diesen Typ führt GASTAUT eine von ihm untersuchte Gruppe von Marinefliegern an. Diese Männer, die aus freiem Willen einen sehr gefährlichen Beruf ausüben, zeigten in ihrem EEG ausnahmslos das Syndrom der Instabilität, das dem extravertierten und lebhaften, aber auch etwas haltlosen und unreifen Charakter solcher Menschen, die ein gefährliches Leben bevorzugen, entspricht.)

Auch andere Autoren kamen bei einer vom EEG-Befund ausgehenden Typeneinteilung im wesentlichen zu ähnlichen Ergebnissen wie SAUL u. Mitarb. und GASTAUT. Vor allem für das EEG vom ausgesprochenen A-Typ (Gastauts Syndrom der Hypoexcitabilität) wurden noch weitere psychologische Entsprechungen aufgestellt; so von PALMER und ROCK (1951), die bei Männern mit diesem EEG-Typ passiv-abhängige Züge und eine inadäquate Vater-Identifizierung fanden, und von KENNARD und SCHWARTZMAN (1956), die ein sehr ausgeprägtes Alpha-EEG häufig zusammen mit egozentrischen Tendenzen und einer Neigung, nur der unmittelbaren Gegenwart zu leben, antrafen.

Besonders erwähnt werden soll hier noch der Versuch von MUNDY-CASTLE (1955), Beziehungen zwischen der Alpha-Frequenz und dem psychomotorischen Tempo aufzuzeigen. Dabei wurden für jede einzelne Vp verschiedene Geschwindigkeitstests durchgeführt (Rechentest, Tapping-Test, Feststellung der habituellen Schreib-, Sprech- und Gehgeschwindigkeit, ausserdem tachistoskopische Wahrnehmungsversuche). Die in Zahlen ausgedrückten Resultate der Tests wurden mit den Alpha-Frequenzen korreliert. Es zeigte sich, daß hohe Alpha-Frequenz im allgemeinen mit Schnelligkeit im Ablauf der psychomotorischen und der perceptiven Funktionen einherging, und niedrige Alpha-Frequenz mit Langsamkeit.

Zu 3.

Einige britische Arbeiten (GOLLA, HUTTON u. GREY WALTER 1943 und SHORT 1953) unterscheiden sich von den anderen vorliegenden Arbeiten über EEG und Typus, weil sie nicht wie diese die Alpha-Frequenz oder den Alpha-Index als wichtigstes Kriterium zur Typeneinteilung heranziehen, sondern die Alpha-Blockierung auf Sinnesreize bzw. ihr Ausbleiben, und weil sie als psychologisches Äquivalent des EEG-Typus nicht irgendwelche Eigenschaften oder Züge ansehen, sondern den bevorzugten Vorstellungsmodus des Individuums. Die Einteilung der EEG-Typen wird hier folgendermaßen vorgenommen:

1. Gruppe: Elektroencephalogramme mit amplitudenniedrigem Alpha-Rhythmus (unter 10 Mikrovolt), bei denen Öffnen und Schließen der Augen oder erhöhte Gedankentätigkeit keine sichtbare Veränderung der Kurve bewirkt. Sogenannter M-Typ (M für minus).
2. Gruppe: Elektroencephalogramme, die in der Ableitung bei geschlossenen Augen einen deutlich ausgeprägten Alpha-Rhythmus von durchschnittlicher Höhe (10 bis 50 Mikrovolt) aufweisen, welcher durch Augenöffnen oder während geistiger Anstrengung blockiert oder stark abgeschwächt wird. Sogenannte R-Kurven (R für reagibel).
3. Gruppe: Elektroencephalogramme, bei denen der Alpha-Rhythmus ständig die gleiche Ausprägung beibehält, gleich, ob die Augen geschlossen oder geöffnet sind, und unabhängig vom Ausmaß der gerade vor sich gehenden Vorstellungs- oder Gedankentätigkeit. Als P-Typ bezeichnet (P für persistierend).

Auf den P-Kurven ist eine Einwirkung von sensorischen Reizen genau so wenig zu erkennen, wie auf den Kurven vom M-Typ: während die M-Kurve jederzeit so flach ist, daß sie keine Blockierung erkennen läßt - der Alpha-Rhythmus scheint hier ja gewissermaßen ständig blockiert zu sein - , ist bei den P-Kurven der Alpha-Rhythmus durchgehend gleichmäßig ausgeprägt, weil er auf Stimulierung nicht anspricht. Die Einteilung in M-, R- und P-Typus nimmt also keine Rücksicht auf die Alpha-Frequenz oder den Alpha-Index; es kommt dabei nur darauf an, ob das Ruhe-EEG durch sensorische Reize und durch Vorstellungstätigkeit modifiziert wird oder nicht.

Auf Grund gelegentlicher Beobachtungen während der Ableitung war man zu der Vermutung gekommen, daß zwischen EEG-Typ und habituellem Vorstellungstyp einer Vp ein Zusammenhang bestehen könne. In

Anlehnung an eine frühere Arbeit von GOLLA über Vorstellungs- und Atemtypus wählte man eine Versuchsanordnung, die es ermöglichte, EEG und Atmung - und zwar nach Tiefe und Dauer jedes einzelnen Atemzuges - gleichzeitig zu registrieren. Die Atmung wurde deswegen mit einbezogen, weil aus ihr Rückschlüsse auf den bevorzugten Vorstellungsmodus der Vp gezogen werden können. Denn Menschen vom visuellen Vorstellungstyp atmen in 82% der Fälle regelmäßig, und Menschen vom akustischen Vorstellungstyp atmen vorwiegend (86%) unregelmäßig, was wohl als Ausdruck pharyngolaryngealer Innervation, die mit den akustisch-kinaesthetischen Vorstellungen einhergeht, angesehen werden muß.

Um die bevorzugte Vorstellungsweise einer jeden Vp aber auch direkt zu ermitteln, stellte man während der EEG-Ableitung eine Reihe entsprechender Aufgaben; nach jeder Aufgabe wurde die Vp gefragt, wie sie bei der Lösung vorgegangen war. Die Analyse der gesamten Lösungen (GOLLA et al: 60 Vpn, SHORT: 150 Vpn), jeweils im Zusammenhang mit den Atemkurven durchgeführt, zeigte, daß die Hauptunterscheidung bei den Vorstellungen nicht zwischen visuell und akustisch, sondern zwischen sensorisch und kinaesthetisch gemacht werden sollte. In die sensorische Gruppe fallen dann nicht nur die visuellen, sondern auch solche akustischen Vorstellungen, bei denen die Vp gewissermaßen ein völlig passiver Zuhörer ist, während sie sich bei den akustisch-kinaesthetischen Vorstellungen ja als mitsprechend, -singend oder -summend empfindet. Die Mehrzahl der Vpn konnte die Vorstellungsart je nach den Anforderungen der Aufgabe wechseln; dabei war aber meist ein Vorstellungsmodus deutlich bevorzugt und wurde nur dann aufgegeben, wenn die Aufgabe sich auf diese Weise nicht lösen ließ. Es kristallisierten sich aber auch zwei kleine extreme Gruppen heraus, die von ihrem eigenen Vorstellungsmodus unter keinen Umständen abwichen. Die Vpn der einen Gruppe suchten alle Aufgaben auf dem Weg über visuelle Vorstellungen zu lösen, die andere extreme Gruppe wurde von Vpn gebildet, die ausschließlich akustisch-kinaesthetische Vorstellungen hatten.

Diese drei Gruppen - der gemischt visuell-akustische Vorstellungstyp, der rein visuelle und der rein akustisch-kinaesthetische Vorstellungstyp - fielen weitgehend mit den vorher beschriebenen EEG-typen (R, M u. P) zusammen. Die Vpn vom "gemischten" Typ, die ihre bevorzugte Vorstellungsart im Bedarfsfall auswechseln können, gehörten dem weitaus am häufigsten vorkommenden EEG-Typ "R" an, bei

dem der Alpha-Rhythmus blockiert wird; Vpn vom rein visuellen Vorstellungstyp fielen alle in die elektroencephalographische M-Gruppe, hatten also keinen Alpha-Rhythmus und daher auch keine erkennbare Alpha-Blockierung. Ihr Atemrhythmus war vorwiegend regelmässig. Die reinen "Verbalisten" schliesslich hatten EEG-Kurven vom P-Typ, d.h. also, einen persistierenden Alpha-Rhythmus ohne Blockierungseffekt. Sie atmeten unregelmässig.

Über das Verhalten von Vpn mit verschiedenem Alpha-Typ im stereognostischen Test, bei dem die mit der einen Hand abgetasteten Figuren mit der anderen Hand nachgezeichnet werden müssen, berichten SHORT u. WALTER (1954); demnach erzielten Menschen von reinem Vorstellungstyp (elektroencephalographisch: M- oder P-Typ) bessere Ergebnisse als die vom gemischten Vorstellungstyp.

Der Zusammenhang zwischen Vorstellungstyp und Verhalten des Alpha-Rhythmus soll nach GOLLA folgendermaßen zu erklären sein: "In der P-Gruppe findet man die Personen, die von verbalen und kinaesthetischen Vorstellungen so beherrscht werden, daß das Öffnen der Augen als solches keinen ausreichenden Reiz darstellt, um den Mechanismus in Gang zu setzen, der mit der Integration visuellen Vorstellens und Wahrnehmens zusammenhängt. In der M-Gruppe dagegen bleibt dieser Mechanismus auch dann in Tätigkeit, wenn die Augen geschlossen sind, weil bei diesen Vpn alle Gedankentätigkeit mit der Hilfe visueller Vorstellungen vor sich geht." ¹⁾

Bei einer Überschau über die verschiedenen Versuche, eine Typeneinteilung in Zusammenhang mit dem EEG vorzunehmen, gewinnt man den Eindruck, daß diejenigen Typenaufstellungen auf dem sichersten Boden stehen, die vom Hirnstrombild ausgehen und die eine Beziehung zwischen EEG und Persönlichkeitsfaktoren in erster Linie im Grad der corticalen Erregbarkeit begründet sehen.

¹⁾ GOLLA F., E.L.HUTTON u.W.GREY WALTER (1943), Objective Study of Mental Imagery, S.216.

5. Das EEG bei Verhaltensstörungen.

5 bis 15% aller "normalen" erwachsenen Menschen und 15 bis 8% aller normalen Jugendlichen, bei denen weder krankhafte Veränderungen im Zentralnervensystem noch abartige Verhaltensweisen festzustellen sind, haben einen anormalen EEG-Befund (GIBBS 1950). Demgegenüber findet man bei Gruppenuntersuchungen an verhaltensgestörten Kindern und Jugendlichen einen erhöhten Prozentsatz von EEG-Kurven mit anormalen Wellenformen. Im Folgenden wird eine Übersicht über die Untersuchungsergebnisse von 15 verschiedenen Autoren gegeben, die sich mit dem Zusammenhang zwischen EEG-Anomalität und Verhaltensstörungen befaßt haben (die Prozentzahlen beziehen sich auf den Anteil an anormalen Kurven, der jeweils bei der Untersuchung einer Gruppe von verhaltensgestörten Kindern oder Jugendlichen gefunden wurde):

ASPER, SOLOMON und BRADLEY (1938)	71%
SECUNDA u. FINLEY (1942)	51%
RILL u. Mitarb. (1942)	61%
LOMON, BROWN und DEUTSCHER (1944)	65%
ICHAELS u. SECUNDA (1944)	52%
ICKOFF u. BEEVERS (1947)	2%
ENNARD u. WILLNER (1947)	68%
PACELLA (1948)	25 - 30%
UZIÈRE u. Mitarb. (1950)	68%
ATTELL u. PACELLA (1950)	33%
AWKES u. ROARK (1951)	92%
ELDMAN (1952)	36%
ORSSMANN u. FREY (1953)	39%
ATERKA u. KATZ (1955)	81%
LISE (1956)	58 bzw. 25%

Daß die Ergebnisse dieser Untersuchungen soweit voneinander abweichen, liegt wohl an der Verschiedenheit der Versuchsbedingungen, die vor allem da ins Gewicht fällt, wo es sich um die Auswahl des Versuchsmaterials und um die Aufstellung der Kriterien, nach denen ein EEG als "normal" oder "anormal" beurteilt werden soll, handelt. Die Versuchsgruppen wurden teils aus Erziehungs- und Ersoorgeheimen oder aus Jugendgefängnissen, teils aus psychiatrischen Kinderabteilungen genommen; die Verhaltensstörungen konnten

also bei den einzelnen Gruppen weder nach Art noch nach Schweregrad die gleiche Verteilung haben. Auch altersmässig ist wahrscheinlich keine Vergleichbarkeit gewährleistet (bei den meisten Autoren finden sich keine Altersangaben). Bekanntlich nehmen ja mit zunehmendem Lebensalter die elektroencephalographischen Anomalitäten ab. Wieweit Versuchsergebnisse aus diesem Grund allein schon von dem jeweiligen Durchschnittsalter der untersuchten Gruppe mitbestimmt werden können, geht aus einer EEG-Untersuchung von M.KENNARD (1948) hervor: bei 529 Patienten einer Psychiatrischen Klinik (alle ohne organischen Befund, Alter zwischen 6 und 24 Jahren) wurden die elektroencephalographischen Untersuchungsergebnisse nach Altersgruppen aufgeteilt. Danach zeigten 81% der 6- bis 7-jährigen Kinder irgendwelche elektroencephalographischen Anomalien, während bei den höheren Altersstufen der Anteil an derartigen EEG-Kurven immer weiter zurückging: von den 8- bis 13-jährigen hatten 66%, von den 14- bis 15-jährigen 54% und von den 16- bis 24-jährigen 46% ein anormales EEG. Bei den Insassen eines Jugendgefängnisses fanden sich bei 35% der 18- bis 20-jährigen und bei 26% der über 20 Jahre alten Jugendlichen Anomalien im EEG (LEVY u. KENNARD 1953).

(Bei erwachsenen Strafgefangenen ohne neurologischen oder psychiatrischen Befund ergaben die EEG-Untersuchungen dagegen auch nicht mehr Anomalien als bei entsprechenden nicht-kriminellen Vergleichsgruppen (SILVERMANN 1945, GIBBS, BAGCHI u. BLOEMBERG 1945)).

Ein weiterer Umstand, der für den bei einigen Untersuchungen gefundenen hohen Anteil anormaler Kurven mitverantwortlich sein könnte, wäre das Nichtausscheiden organischer Fälle (Geburtsschädigung, Zustand nach Encephalitis etc.) aus dem auszuwertenden Versuchsmaterial. Auch sind in vielen Fällen die Versuchsgruppen zu klein, um statistisch sichere Ergebnisse liefern zu können.

Die größte Fehlerquelle ergibt sich jedoch daraus, daß für die Auswertung der Kurven kein einheitlicher Maßstab vorhanden ist; die Ansichten der verschiedenen Autoren über das, was als "elektroencephalographisch anormal" anzusehen ist, gehen in mehreren Punkten auseinander.

Zwar herrscht durchwegs Einstimmigkeit darüber, daß paroxysmale Abläufe wie steile Wellen, Spikes, Spikes-and-Waves, sowie focale Störungen als "anormal" zu bewerten sind. Dagegen gibt es verschiedene Meinungen darüber, ob auch das Vorkommen von schnellen Wellen mit grösserer Amplitudenhöhe schon anormal ist, oder ob man sie als

"noch normal" gelten lassen soll. Bei Kindern ergibt sich dann vor allem die Frage, wie weit ein gegenüber der Altersnorm verlangsamtes EEG, und bei älteren Kindern und Jugendlichen, wie weit hier noch auftretende Theta-Gruppen als "anormal" zu betrachten sind.

Je nachdem, welche von den verschiedenen Auffassungen bei der Auswertung der Kurven zugrundeliegt, wird die Ausbeute an "anormalen" Elektroencephalogrammen ausfallen: nämlich größer, wenn auch Grenzbefunde als "anormal" klassifiziert werden, und kleiner, wenn man nur die Kurven mit wirklich schweren Störungen zählt. Hier liegt wohl eine der Erklärungen für die unterschiedlichen Ergebnisse in den Arbeiten über elektroencephalographische Anomalität bei Verhaltensstörungen. Durch die Einordnung der Grenzfälle unter die elektroencephalographischen Anomalien kann sich die Zahl der "anormalen" Kurven bei verhaltensgestörten Personen beträchtlich erhöhen, da gerade bei den Verhaltensstörungen solche leichteren Abweichungen von der Norm sehr häufig vorkommen - was ja sicher auch nicht ohne Bedeutung ist. Bezeichnend ist aber auch, daß eine Untersuchung (TATERKA u. KATZ 1955), die 81,6% Kurven mit anormalen Merkmalen bei einer Gruppe von verhaltensgestörten Kindern ergab, ebenfalls in der aus normalen Kindern gebildeten Kontrollgruppe bei Anlegung des gleichen Maßstabes noch 27,3% an "anormalen" Kurven fand - gegenüber den 15-18% anormalen Kurven, die von GIBBS bei Gruppen von normalen Kindern festgestellt wurden.

Die Abweichungen von der Norm, welche die EEG-Kurven von verhaltensgestörten Personen in erhöhtem Maße aufweisen, lassen sich in vier Hauptgruppen einteilen, von denen die ersten drei an der Grenze zwischen normal und anormal stehen und vor allem immer nur unter Berücksichtigung des Lebensalters beurteilt werden können, während die zur vierten Gruppe gehörenden Merkmale als ausgesprochene Anomalien des Hirnstrombildes zu bezeichnen sind:

1. Vorherrschen schneller Wellen (über 13/sec.)
2. Frequenzverlangsamungen gegenüber der Altersnorm
3. Delta- und Theta-Folgen
4. Paroxysmale Erscheinungen.

Zu 1. Kurven mit vorherrschenden schnellen Frequenzen (häufig mit praezentraler Betonung) finden sich bei allen Zuständen von Angst, Furchtsamkeit, nervöser Spannung; sie sind also nicht spezifisch für Verhaltensstörungen, sondern lassen sich ebenso bei

Schizophrenie, bei manisch-depressivem Irresein und bei ängstlicher Melancholie ziemlich häufig beobachten (FELDMANN 1952) - aber auch bei "normalen" Vpn, vor allem solchen, die zu Ängstlichkeit neigen und die vielleicht durch die Versuchssituation während der Ableitung noch besonders eingeschüchtert sind. Daß derartige EEG-Kurven gerade auch bei Kindern mit Verhaltensstörungen zahlreich anzutreffen sind, ist erklärlich, denn übermäßige Ängstlichkeit und Verhaltensstörungen treten ja oft gemeinsam auf, sei es nun, daß sehr ängstliche Kinder besonders dazu neigen, sekundär irgendwelche inadäquaten Anpassungsmechanismen zu entwickeln, oder daß Kinder, die mit ihrer Umwelt nicht so recht fertig werden und also als "verhaltensgestört" gelten, besonders leicht in Angstreaktionen verfallen.

Das "schnelle" EEG, das oft bei verhaltensgestörten Kindern beobachtet wird, hat also nicht unmittelbar mit der Verhaltensstörung als solcher zu tun; wahrscheinlich steht sie in einem Zusammenhang mit einer der möglichen Begleiterscheinungen, die bei Verhaltensstörungen auftreten, nämlich der Neigung zu Aufregung und Angst.

Eine neuere Interpretation der frontal und praezentral auftretenden schnellen Aktivität sieht in dieser vorwiegend eine Ermüdungserscheinung. Es hat sich nämlich gezeigt, daß diese schnellen Wellen im Zustand der Schläfrigkeit vermehrt auftreten und beim Einschlafen direkt in die für das Stadium des leichten Schlafes charakteristischen "Schlaf-Spindeln" übergehen können (D.BENTE, persönl. Mitteilung). KENNARD u. Mitarb. (1958) fanden eine Beziehung zwischen dem Vorkommen dieser fronto-praezentralen schnellen Wellen und einem habituell verminderten Wachheitsgrad bei verhaltensgestörten Kindern.

Zu 2. Bei der Bewertung von Kurven mit vorherrschenden langsameren Rhythmen muß immer in erster Linie das Alter der Vp berücksichtigt werden. Bekanntlich steigt ja bei Kindern die Frequenz des occipitalen Grundrhythmus erst allmählich an, von 3-4/sec. bei seinem ersten Auftreten im Alter von ungefähr 3 Monaten bis zu den Erwachsenenwerten um 10/sec. im Alter von etwa 8-10 Jahren. Einer Untersuchung von KREEZER (1938) zufolge soll die Entwicklung des Grundrhythmus nicht mit dem Lebensalter, sondern mit dem Intelligenzalter im Zusammenhang stehen; seine schwachsinnigen Vpn zeigten, ganz

unabhängig von ihrem Lebensalter, einen "erwachsenen" Alpha-Rhythmus erst zu dem Zeitpunkt, wo sie das Intelligenzalter von 8 Jahren erreicht hatten.

Wenn sich also bei älteren Kindern noch ein verlangsamter Grundrhythmus findet, so besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür, daß sie auch in ihrer geistig-seelischen Entwicklung zurückgeblieben sind. Der relativ hohe Anteil von Hirnstrombildern mit langsameren Rhythmen, der bei jeder Untersuchung verhaltensgestörter Kinder anfällt, drückt wahrscheinlich nichts anderes aus, als daß bei einem Teil dieser Kinder ein Rückstand in der geistig-seelischen Entwicklung vorliegt, und daß ihre Verhaltensstörungen in erster Linie als Fehlreaktionen auf die Anforderungen der Umwelt, denen sie auf Grund ihres Entwicklungsrückstandes noch nicht gewachsen sind, gewertet werden müssen.

Ein direkter Zusammenhang zwischen EEG-Anomalie und bestimmten Verhaltensstörungen besteht also wahrscheinlich auch hier nicht.

zu 3. Theta-Wellen finden sich normalerweise im Wachzustand nur bei kleineren Kindern (und zwar besonders dann, wenn diese schläfig sind; vgl. DALE u. BUSSE 1951). Nach dem fünften Lebensjahr treten die Theta-Wellen nur noch ab und zu in frontalen und temporalen Regionen auf und verschwinden dann in der Regel allmählich aus dem Hirnstrombild. Ihr vermehrtes Auftreten bei Personen höherer Altersstufen geht oft mit ganz bestimmten Verhaltensstörungen einher, nämlich mit der Neigung, schon bei relativ geringfügigen Anlässen - oder auch ohne ersichtliche Ursache - in Wutanfälle oder aggressive Handlungen auszubrechen (vgl. HILL 1944, GREY WALTER 1950). Wie wir in dem Kapitel über die Affekte gesehen haben, handelt es sich bei den Theta-Wellen um Rhythmen, deren Auftreten wahrscheinlich vom Hirnstamm aus gesteuert wird (FELDMANN 1952), also von phylogenetisch älteren und ontogenetisch früher zur Reife kommenden Zentren, die mit dem Fortschreiten der Hirnreifung nach und nach unter die Herrschaft corticaler Funktionen gelangen. Normalerweise sollten also Theta-Gruppen im Wach-EEG von älteren Kindern und von Erwachsenen nicht mehr auftreten. Dagegen wird die EEG-Kurve des normalen Erwachsenen im Schlaf und in der Narkose, d.h. also, wenn das Bewußtsein ausgeschaltet ist, wieder von langsamen synchronen Theta- und Delta-Rhythmen beherrscht. Wo aber auch im Wach-EEG noch solche Wellen vorkommen, kann man dies wahrscheinlich als Zeichen einer zurückgebliebenen Entwicklung oder ungenügen-

den Ausreifung des zentralen Nervensystems nehmen. Dieser Reifeausfall würde sich elektroencephalographisch gesehen in einem zeitweiligen Dominieren eines basalen Rhythmus, psychologisch gesehen in dem gelegentlichen Versagen hemmender Faktoren gegenüber primitiven Impulsen und Reaktionen, wie wir es bei den Verhaltensstörungen aggressiver Färbung beobachten, äussern. EEG-Kurven von Jugendlichen und Erwachsenen, in denen sich vermehrt Theta-Wellen finden, haben in vielen Fällen auch einen Alpha-Rhythmus von weniger als 9,5/sec., sodaß das Gesamtbild der Kurve, ebenso wie ja auch das durch Unbeherrschtheit gekennzeichnete Verhalten solcher Personen, eigentlich einer jüngeren Altersstufe zuzugehören scheint.

Auch hier läßt sich wieder die Annahme, daß im menschlichen EEG und insbesondere in seinen Frequenzvariationen der Grad der jeweiligen Bewußtseinsklarheit zum Ausdruck kommt, heranziehen. Demnach würde ein habituell verlangsamter Alpha-Rhythmus oder ein Vorherrschen langsamerer Frequenzen bedeuten, daß dieser Mensch ständig in einem niedrigeren Grad von Wachheit lebt, als es seinem Lebensalter gemäß ist, und das Auftreten von Theta-Wellen in den Ableitungen von älteren Kindern und Erwachsenen ließe sich vielleicht in vielen Fällen in einen Zusammenhang mit der vorübergehenden Bewußtseinsverdunkelung, durch welche Wutausbrüche und aggressive Handlungen gekennzeichnet sind, bringen.

Zu 4. Elektroencephalographische Merkmale wie Spikes-and-Waves-Abläufe kürzerer Dauer, eingestreute Spikes oder steile Wellen und andere, die für eine erhöhte cerebrale Krampfbereitschaft sprechen, finden sich nicht nur bei Menschen mit klinisch erkennbaren epileptischen Anfällen, sondern können auch im EEG von Personen vorkommen, die zwar niemals epileptische Anfälle im eigentlichen Sinn haben, die aber dafür vielfach irgendwelche meist krisenhaft auftretende Verhaltensstörungen zeigen.

Den Psychologen und den Erziehungsberater muß es in diesem Zusammenhang besonders interessieren, daß elektroencephalographische Untersuchungen verhaltensgestörter Kinder und Jugendlicher immer in einer großen Zahl von Fällen Anzeichen einer solchen erhöhten cerebralen Erregbarkeit aufdecken. So fand z.B. ZEISE unter den kindlichen Patienten der Münchener Heckscher-Klinik, die wegen schwerer Verhaltensstörungen eingeliefert wurden, 57,7% mit erhöhter cerebraler Krampfbereitschaft; davon bestand bei der Hälfte Verdacht auf vorgeburtliche oder frühkindliche Schädigung, so-

daß immer noch rund 25% "reine" Fälle verblieben.

Diese Zahlen besagen also, daß bei etwa dem vierten Teil aller jener Kinder, die auf Grund ihrer extremen Schwererziehbarkeit zur Beratung oder Behandlung gebracht werden müssen, nicht so sehr psychologische als hirnhysiologische Faktoren den Anstoß zur psychischen Fehlentwicklung gegeben haben, und daß in diesen Fällen von rein psychagogischen oder psychotherapeutischen Maßnahmen kein allzu grosser Erfolg zu erwarten ist, solange die zugrundeliegende hirnhysiologische Störung weiterbesteht (vgl. LINDSLEY u. BRADLEY 1939). Aber glücklicherweise haben die meisten dieser Kinder gute Aussichten auf eine Besserung ihres Zustandes: nämlich durch chronische antikonvulsive Medikation, die das EEG normalisiert und dadurch die Voraussetzungen für eine erfolgreiche psychotherapeutische Behandlung erheblich verbessert.

Für die Praxis der Erziehungsberatung ergibt sich hier die Frage, in welchen Fällen eine EEG-Untersuchung angezeigt erscheint, ob man diese ja wahrscheinlich schon allein auf Grund der Kostenfrage nicht bei allen verhaltensgestörten Kindern durchführen lassen kann. Die Schwierigkeit liegt darin, daß meistens keine bestimmten klinischen Symptome auf eine mögliche Störung der hirnhysiologischen Abläufe hinweisen. Ausgenommen sind hier natürlich die Petit-Mal-Anfälle oder Absenzen, denn hier lassen sich die zeitweiligen Bewußtseinsausfälle meist erkennen: sie werden eingeleitet von einem plötzlichen Zusammenzucken und begleitet von einer Unterbrechung des Bewegungsablaufes; oft werden dabei die Augen nach oben gedreht (vgl. Kap. III,3). Auch Hinweise der Eltern oder Lehrer auf angebliche Vergeßlichkeit, Zerstreuung, Unachtsamkeit oder Ungeschicklichkeit (weil das Kind öfters Gegenstände umstößt oder aus der Hand fallen läßt) oder ähnliche "Unarten" der Kinder, die möglicherweise im Zusammenhang mit zeitweiligen Bewußtseinsstörungen stehen könnten, führen manchmal auf die richtige Spur. Schwieriger ist es aber, wenn nicht die typischen Spikes-and-Waves folgen, sondern andere elektroencephalographische Störungen vorliegen: ihr Vorhandensein läßt sich in der Regel nicht von vorneherein, d.h. ohne EEG-Untersuchung, feststellen, denn weder gehen sie mit bestimmten klinischen Symptomen einher, noch besteht bei bestimmten Verhaltensstörungen mehr Verdacht auf eine möglicherweise zugrundeliegende elektroencephalographische Störung als bei anderen. Am häufigsten soll zwar bei Enuresis ein gestörtes EEG vorhanden sein (MICHAELS und SECUNDA 1944), aber ein solches kann sich ebenso gut

bei der ganzen übrigen Skala jugendlicher Verhaltensstörungen finden. ZEISE nennt in diesem Zusammenhang: Enuresis, Enkopresis, Lügen, Stehlen, Streunen, Fetischismus, exzessive Onanie, Wutanfälle, Zerstörungssucht, Eifersucht gegenüber Geschwistern, Tätlichkeiten gegen die eigenen Eltern; bei anderen Autoren werden zusätzlich die Neigung zur Brandstiftung (MICHAELS 1945) und Nachtwandeln (DELAY 1950) erwähnt. Das einzig Auffallende bei den Verhaltensstörungen, denen eine gesteigerte hirnphysiologische Erregbarkeit zugrunde liegt, ist vielleicht ihr intermittierendes Auftreten. "Die Eltern entsprechender Kinder berichten über ein anfallsweises explosionsartiges Auftreten der Störungen, über ihr auffallend schnelles Wiederabklingen und daß die Kinder außerhalb ihrer Phasen ganz normal, lieb und gutmütig wären Die Kinder selbst, jedenfalls sobald man mit ihnen in einen ausreichenden Kontakt kommt, gebrauchen oft die Redewendungen 'ich kenne mich dann selbst nicht mehr' oder 'es kommt einfach über mich'".¹⁾

Auf solche Aussagen ist daher besonders zu achten, wenn die Frage einer EEG-Untersuchung entschieden werden soll. Im übrigen empfiehlt es sich, mindestens alle die Kinder elektroencephalographisch untersuchen zu lassen, bei denen psychagogische Maßnahmen jeglicher Art fehlerzuschlagen scheinen, denn hier liegt der Verdacht auf eine Störung im Zentralnervensystem besonders nahe.

Um noch einmal zusammenzufassen: wenn es in der Praxis der Erziehungsberatung aus technischen Gründen zunächst noch nicht möglich ist, alle Kinder mit ausgeprägten Erziehungsschwierigkeiten einer elektroencephalographischen Untersuchung zuzuführen, so sollte dies doch wenigstens in folgenden Fällen geschehen:

1. wenn ein Verdacht auf Absenzen besteht,
2. wenn die Verhaltensstörungen anfallsartig auftreten und wieder abklingen,
3. wenn alle psychagogischen Bemühungen keinen Erfolg haben.

In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, daß auch bei Kindern, die trotz ausreichenden geistigen Fähigkeiten und trotz genügendem Unterricht noch Leseschwierigkeiten haben, in 75% der Fälle ein gestörtes EEG gefunden wird (HUGHES u. Mitarb. 1949). Und ebenso haben Kinder mit Sprachstörungen (Stotterer und Polterer) oft ein anormales Hirnstrombild; auch hier kann eine entspre-

¹⁾ ZEISE, W. Die latente Epilepsie des Kindesalters
Schule und Psychologie 1957, S.23.

chende medikamentöse Therapie - in Verbindung mit sprachtherapeutischen Maßnahmen - eine Besserung herbeiführen (BENTE, SCHÖNHÄRL u. KRUMP 1956).

In den meisten Fällen ist es mit einer einzigen EEG-Untersuchung und der Feststellung, daß elektroencephalographische Veränderungen im Sinne einer gesteigerten cerebralen Erregbarkeit oder Krampfbereitschaft vorliegen, noch nicht getan, denn nun muß erst versucht werden, aus der heute zur Verfügung stehenden Zahl antikonvulsiver Mittel dasjenige Medikament (bzw. die Kombination mehrerer Medikamente) herauszufinden, das im speziellen Fall die günstigste Auswirkung auf das Hirnstrombild hat. Da sich der Erfolg einer medikamentösen Behandlung mit einiger Sicherheit erst nach mehreren Wochen abschätzen läßt und da leider nicht immer gleich das erste, sondern oft erst das zweite, dritte oder vierte Medikament eine zufriedenstellende Wirkung (im Sinne einer Normalisierung des EEG) zeigt, sind oft laufende, sich über mehrere Monate erstreckende EEG-Kontrollen nötig, bis die jeweils bestmögliche Medikation erprobt ist.

Man darf nun allerdings nicht erwarten, daß mit dem Verschwinden der elektroencephalographischen Störungen sofort auch alle Verhaltensstörungen behoben sind. Am eindrucksvollsten erscheint eine Besserung im Verhalten vielleicht in den Fällen, wo durch die Medikation häufige Absencen behoben werden können, denn hier verschwinden gewisse "Unarten" wie Vergeßlichkeit, Zerstreutheit usw. sofort, da sie ja nichts anderes sind als besondere Erscheinungsformen der zeitweiligen Bewußtseinsstörungen. Aber in den Fällen, wo elektroencephalographische Störungen allgemeinerer Art im Sinne einer gesteigerten hirnelektrischen Erregbarkeit vorliegen (die ja in keinem direkten Zusammenhang mit bestimmten Verhaltensstörungen stehen, sondern die gewissermaßen nur den Boden für deren Entwicklung bereitet haben), wird durch eine medikamentös bewirkte Normalisierung des Hirnstrombildes meistens nicht unmittelbar die Verhaltensstörung behoben, sondern nur eine bessere Voraussetzung für ihre Verarbeitung und Überwindung geschaffen.

Für die Verhaltensstörungen liegt also die Bedeutung der Elektroencephalographie vor allem darin, daß mit ihrer Hilfe die Fälle herausgestellt werden können, bei denen Störungen im Zentralnervensystem (die sich als gesteigerte cerebrale Erregbarkeit oder erhöhte Krampfbereitschaft äußern) zugrunde liegen, und daß man

anschliessend an Hand laufender Kontrollableitungen die günstigste Medikationsform für jeden einzelnen dieser Fälle erproben kann.

Was man jedoch auf diesem Gebiet vom EEG nicht erwarten darf, ist die Möglichkeit, aus dem Hirnstrombild eine Diagnose auf die Art der psychologischen Störungen zu stellen. Bisher wurde keine sichere Korrelation zwischen bestimmten elektroencephalographischen Anomalien und bestimmten Verhaltensstörungen gefunden, abgesehen von der einen, die möglicherweise zwischen dem Auftreten von Theta-Wellen und aggressiven Tendenzen besteht. Und ebenso wie Verhaltensstörungen ohne elektroencephalographische Auffälligkeiten vorkommen können (es sei daran erinnert, daß etwa nur jedes vierte Kind mit Verhaltensstörungen ausgeprägte elektroencephalographische Störungen hat), gibt es umgekehrt auch Fälle, wo einem anormalen EEG keine feststellbaren psychischen Störungen entsprechen: 5 bis 15% aller "normalen" Menschen und 15-18% "normaler" Kinder haben ein "anormales" EEG (GIBBS). Es scheint allerdings eine erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür zu bestehen, daß sich in den Familien solcher Menschen durchschnittlich mehr Personen mit elektroencephalographischen und psychischen Auffälligkeiten befinden, als in den Familien entsprechender Kontrollgruppen mit "normalem" EEG. Ein Vergleich (KENNARD 1948) der EEG-Kurven jugendlicher Patienten einer psychiatrischen Klinik mit den EEG-Kurven ihrer "normalen" Verwandten deckte gewisse "Familienähnlichkeiten" auf: von den Verwandten der Patienten mit normalem EEG hatten 20% irgendwelche elektroencephalographischen Störungen; von den Verwandten der Patienten mit elektroencephalographischen Grenzbefunden: 26%; und von den Verwandten der Patienten mit anormalen EEG-Kurven: 40%. In einer anderen Untersuchung (GOTTLIEB u. Mitarb. 1947) fand man bei 72% der Patienten, deren Eltern ein anormales EEG hatten, ebenfalls ein solches, gegenüber 32% anormaler EEG-Kurven bei den Patienten, deren Eltern ein normales EEG hatten.

Es steht also fest, daß elektroencephalographische Anomalität und geistig-seelische Anomalität (im weitesten Sinne) keineswegs in jedem einzelnen Fall zusammen auftreten. Nur wenn man größere Gruppen von normalen und von psychisch auffälligen Menschen (Verhaltensgestörten, Psychopathen, Delinquenten etc.) miteinander vergleicht, fällt die verschiedene Verteilung der EEG-Merkmale bei den zwei Gruppen auf: bei den "anormalen" Menschen findet sich eine grössere Häufung anormaler EEG-Kurven als bei den "normalen" Kontrollgruppen. Und umgekehrt lassen sich bei den Menschen, die ein

anormales EEG haben, häufiger psychische Auffälligkeiten feststellen als bei den Menschen mit einem normalen EEG. Auf den Einzelfall angewandt, würde das also heißen: für einen Menschen mit einem normalen EEG ist die Wahrscheinlichkeit, daß er frei von psychischen Störungen ist und bleibt, größer als für einen Menschen mit einem anormalen EEG, und umgekehrt besteht für einen Menschen mit elektroencephalographischen Störungen eine höhere Wahrscheinlichkeit, daß er zu irgendeinem Zeitpunkt seines Lebens psychische Auffälligkeiten an den Tag legt, als für einen Menschen, in dessen EEG keine solchen Störungen vorkommen.

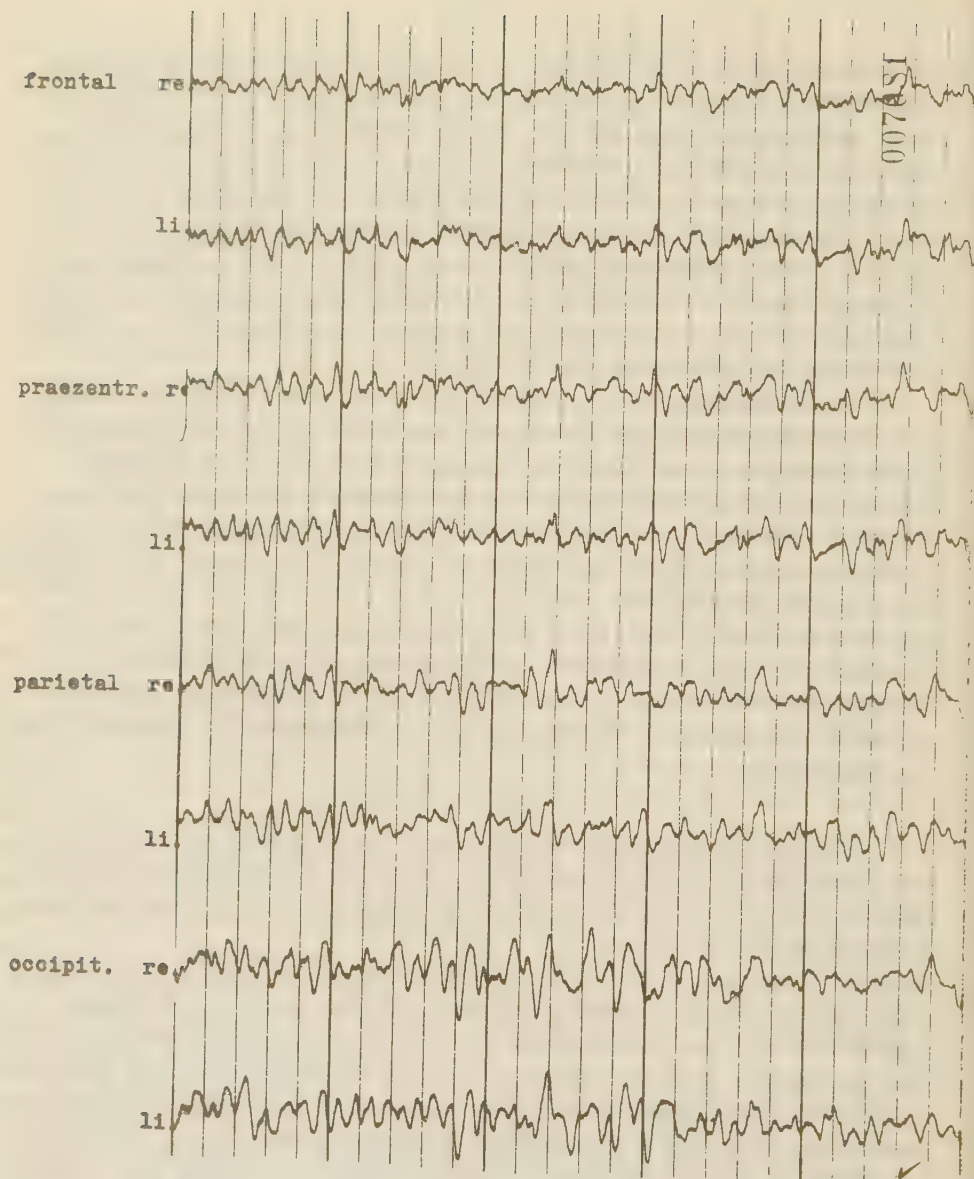
Der Zusammenhang zwischen abnormem EEG und Verhaltensstörung beruht wohl darauf, daß beiden ein gemeinsames Drittes zugrunde liegt: demnach ließe sich ein anormales EEG als Ausdruck einer konstitutionellen oder funktionellen Schwäche des Zentralnervensystems betrachten, die ihrerseits eine gewisse Disposition zu psychischen Fehlentwicklungen schafft, ohne daß es jedoch im einzelnen Fall soweit kommen muß.

Weitere Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen elektroencephalographischen Störungen und Verhaltensstörungen wurden von LINDSLEY u. CUTTS 1940, GALLAGHER, GIBBS u. GIBBS 1942, BURROW u. GALT 1945, ADAM u. SCHUERMANS 1949, RONDEPIERRE u. Mitarb. 1950, durchgeführt.

Auch bei erwachsenen Psychopathen stellte man im Vergleich mit normalen Kontrollgruppen einen erhöhten Anteil anormaler EEG-Kurven fest, der allerdings nicht so groß war wie bei Gruppen verhaltensgestörter Kinder.

Nach R. JUNG handelt es sich hier vorwiegend um leicht dysrhythmische Elektroencephalogramme mit Theta-Wellen über der vorderen Schädelhälfte oder parieto-temporal, die an die unausgereiften EEG-Kurven von Kindern erinnern und die möglicherweise als Ausdruck einer unvollständigen Hirnreifung oder einer Entdifferenzierung ausgebildeter Hirnfunktionen angesehen werden können (vgl. auch WILLIAMS 1941, HILL u. WATTERSON 1942, DIETHELM u. SIMONS 1945, BRAZIER u. Mitarb. 1945, HÖNCKE u. Mitarb. 1949, HILL 1952).

Übrigens soll nach den Untersuchungen von GALLAIS u. Mitarb. (1950) häufig auch bei normalen Negern ein solches EEG anzutreffen sein, das im Vergleich zum EEG von normalen weißen Erwachsenen unausgereift erscheint. MERRILL u. COOK (1957) fanden jedoch zwischen weißen und schwarzen Versuchsgruppen keine solchen Unterschiede.



EEG eines 15-jährigen Mädchens mit Verhaltensstörungen (allgemeine Enthemmung, starke motorische Unruhe, Enuresis nocturna).

Dysrhythmisches EEG mit rechtsseitig betonten steilen Potentialen über den hinteren Hirnregionen.

Auf antikonvulsive Medikation hin weitgehendes Nachlassen der Enuresis.

Auch bei Vpn mit schlechten Ergebnissen im Rorschach-Test fand man einen erhöhten Anteil an EEG-Kurven, deren Merkmale auf eine ungenügende Hirnreifung hinzuweisen schienen (AMOROSO 1949, BARNES 1950).

Eine Diagnose vom EEG her ist in allen diesen Fällen natürlich ebenso wenig möglich wie bei den kindlichen Verhaltensstörungen und bei den Psychosen, da immer nur statistische Korrelationen bestehen.

frontal

re.

li.

praezentral re.

li.

parietal

re.

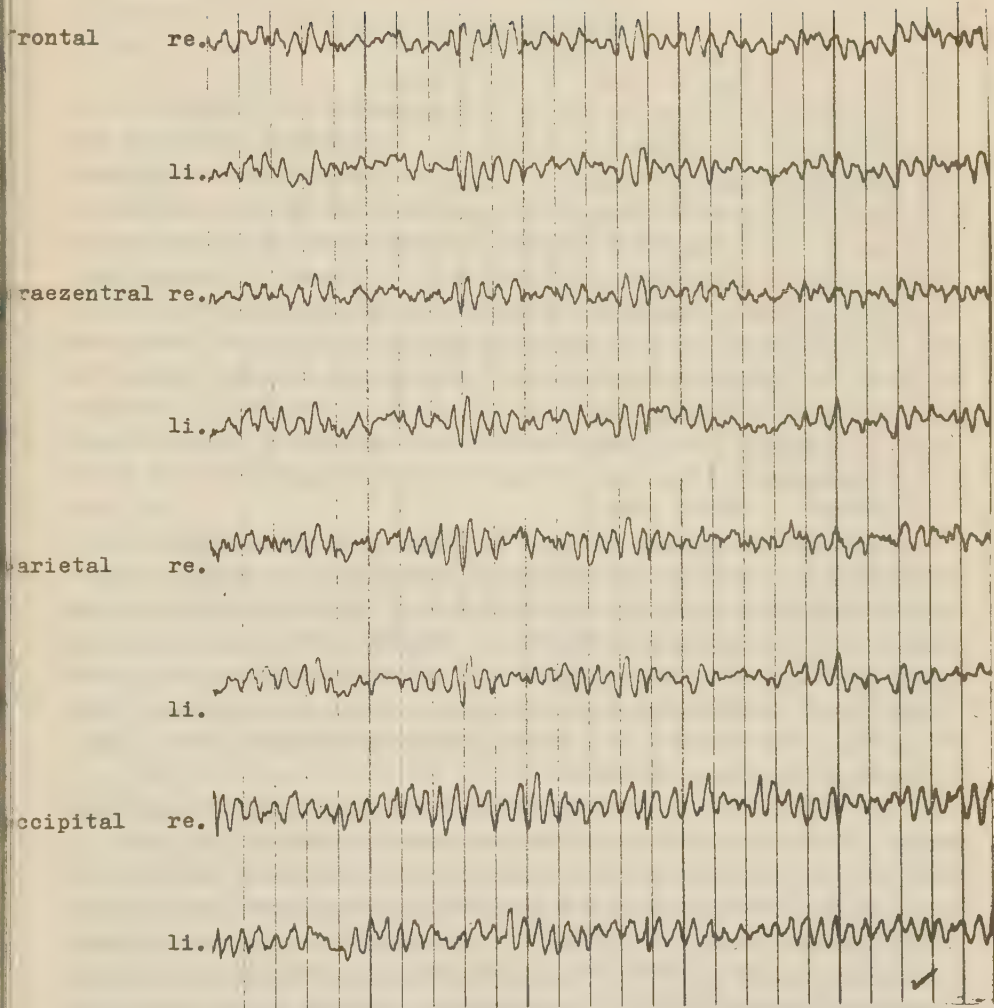
li.

occipital

re.

li.

Stotterer, 17 Jahre. Dysrhythmisches EEG mit eingelagerten steilen Potentialen.



EEG des gleichen Pat. wie auf vorhergehender Seite.
Nach 6-monatiger antikonvulsiver Medikation Regu-
larisierung des Hirnstrombildes und Besserung der
Sprachstörungen.

Kapitel VI

ZUR THEORIE DES EEG

Die Frage nach der Bedeutung der menschlichen Hirnrhythmen ist allein schon deshalb sehr schwer zu beantworten, weil man sich bis jetzt noch nicht über ihren Entstehungsmechanismus im Klaren ist. An Erklärungsversuchen fehlt es allerdings nicht; es gibt eine ganze Reihe von Theorien über die Entstehung der corticalen Spontanrhythmen, die sich, obgleich fast durchwegs auf experimentellen Grundlagen aufgebaut, teilweise zu widersprechen scheinen. Der heutige Stand der elektrophysiologischen und elektroencephalographischen Forschung ermöglicht es noch nicht, die Gültigkeit der einen oder der anderen Theorie zu beweisen. Allerdings läßt sich sagen, daß einige von diesen Theorien zum mindesten fundierte Arbeitshypothesen darstellen und sich für die Erklärung eines Teiles der Phänomene bewährt haben.

Im Folgenden können nur die wichtigsten Theorien über die Entstehung der corticalen Spontanrhythmen gestreift werden. Für eine eingehendere Beschäftigung mit diesem Thema sei auf das Übersichtsreferat von MÜLLER-LIMMROTH u. CASPERS (1956) verwiesen, das einen Überblick über mehr als 200 einschlägige Arbeiten gibt. Eine ausführliche Darstellung der neurophysiologischen Grundlagen findet sich in dem Kapitel "Allgemeine Neurophysiologie" von R. JUNG im Handbuch der Inneren Medizin.

Die rhythmischen Potentialschwankungen des Elektroencephalogramms lassen sich am besten von den grauen Anteilen der Hirnrinde ableiten. Versenkt man die Elektroden in die weiße Substanz, so sind die elektrischen Rhythmen weitgehend vermindert. Da die wesentlichen Strukturen des Cortex die Nervenzellen und ihre Synapsen sind, ist anzunehmen, daß die rhythmische Aktivität des Elektroencephalogramms von diesen Substraten abhängt (vgl. GIBBS 1937).

Über das elektrische Verhalten der einzelnen Nervenzelle kann man sich, vor allem seit den grundlegenden Arbeiten von DUSSEY de BARENNE, LORENTE de NÓ, ECCLES und anderen, schon ziemlich klare Vorstellungen machen. Man nimmt an, daß alle elektrischen Vorgänge sich an der Membran der Nervenzelle und ihrer Synapsen abspielen. Das elektrische Aktionspotential, welches die Erregungsübertragung auf andere Nervenzellen bewirkt, ist ein relativ hochge-

spanntes, schnell ablaufendes Spitzenpotential ("spike"), und gehorcht dem "Alles - oder Nichts - Gesetz", d.h., es gibt keine stärkere oder schwächere Entladung. Jedoch können mehrere von anderen Nervenzellen eintreffende Impulse, von denen jeder für sich zu schwach wäre, um wirksam zu sein, durch Summation eine Entladung auslösen. R. JUNG beschreibt diese Vorgänge folgendermaßen: "An der Zellmembran geht die Alles- oder Nichts-Entscheidung über Entladung oder Ruhe des Neurons vor sich. Einzelne ankommende Impulse von anderen Neuronen erzeugen zunächst ein lokales Membranpotential (synaptic potential, ECCLES), sie können ... zu einer fortgeleiteten Entladung führen, wenn sich mehrere lokale Potentiale von verschiedenen präsynaptischen Fasern fast gleichzeitig an einer größeren Membranfläche summieren (Erregungsfocus von TÖNNIES). Nur die Gesamtentladung, die mit einer Detonation verglichen wurde (ECCLES), leitet das Axon als Effektor des Neurons ... fort. Lokale, nicht fortgeleitete Potentiale ... modulieren nur durch Kat- oder Anelektrotonus der Membran die Erregbarkeit des Neurons". ¹⁾

Nach der Entladung, die in einer Zeit von weniger als 1 msec erfolgt, sind an der Nervenzelle noch geringere, aber länger andauernde Nachschwankungen der elektrischen Spannungsproduktion festzustellen. Diese "Nachpotentiale" sind wahrscheinlich der Ausdruck von reparatorischen Stoffwechselveränderungen, die dem Entladungsvorgang folgen und das Ruhepotential wiederherstellen. Sie gehen immer mit Veränderungen in der Erregbarkeit der Nervenzelle einher. Dadurch ergibt sich für die Nervenzelle ein Erholungszyklus mit Phasen veränderter Erregbarkeit.

Aus dem Verhalten der einzelnen Nervenzelle läßt sich jedoch die Art des Zusammenwirkens grösserer Zellverbände, als deren Ausdruck die rhythmische Aktivität der Hirnrinde aufzufassen ist, nicht zureichend erklären. Es sei hier noch einmal daran erinnert, daß bei der elektroencephalographischen Ableitung jede einzelne Elektrode die gemeinsame Aktivität von etwa 176 400 000 Nervenzellen erfaßt (nach ECONOMO, zitiert bei DUENSING 1949). Die corticalen Rhythmen mit ihren relativ langsamen Frequenzen lassen sich nur schwer als Summation allein von fortgeleiteten Aktionspotentialen eines Zellverbandes verstehen. Nach dem heutigen Stand der

¹⁾ JUNG, R., Allgem. Neurophysiologie, S.3

Forschung ist es wahrscheinlich, daß vor allem langsamere Erregbarkeitsverschiebungen und Vorgänge, wie sie den bereits vorhin erwähnten Nachpotentialen, aber auch synaptischen (ECCLES) und dendritischen (CLARE u. BISHOP) Potentialschwankungen zugrundeliegen, zur Erklärung der hirnelektrischen Rhythmen heranzuziehen sind. Inwieweit diese einzelnen Vorgänge in den Entstehungsmechanismus der Hirnrhythmen eingreifen, läßt sich heute im einzelnen noch nicht klar durchschauen und abgrenzen. Man findet bei einer Reihe führender Neurophysiologen die Auffassung, daß wahrscheinlich verschiedene Vorgänge dieser Art in gegenseitigem Zusammenwirken die rhythmische Hirnaktivität bedingen.

Die detaillierteren EEG-Theorien lassen sich nach MÜLLER-LIMMROTH u. CASPERS in zwei Hauptgruppen einteilen, die sich im wesentlichen dadurch voneinander unterscheiden, daß einmal vorwiegend die corticalen Strukturen, zum anderen außer der Hirnrinde auch subcorticale Strukturen für den der Entstehung der Hirnrhythmen zugrundeliegenden Summationsvorgang herangezogen werden.

BERGER nahm an, daß der Alpha-Rhythmus Ausdruck einer automatischen Tätigkeit der Hirnrinde sei, während er die Beta-Wellen als "materielle Begleiterscheinungen der Bewußtseinsvorgänge" ansah. Die Entstehung der hirnelektrischen Aktivität erklärte er aus Konzentrationsdifferenzen der elektrisch wirksamen Ionen an erregten und unerregten Stellen.

Während nach BERGERS Ansicht der Alpha-Rhythmus in allen Regionen der Hirnrinde entstehen kann, schloß ADRIAN aus der Tatsache, daß die Alpha-Wellen nach Ausprägung und Amplitude am stärksten in der Occipitalregion hervortreten, auf einen Alpha-Focus in der Sehsphäre des Occipitallappens. In diesem Alpha-Focus soll aus der elektrischen Aktivität einer Anzahl von corticalen Neuronen, die zu einem Erregungskreis gekoppelt sind und die sich spontan nacheinander entladen, eine rhythmische elektrische Aktivität entstehen. Aus der gleichgearteten und synchronen Tätigkeit vieler solcher Neuronenkreise soll sich durch eine Summierung der Entladungen der Alpha-Rhythmus bilden. Diese synchronisierten Entladungen, die dem Alpha-Rhythmus zugrundeliegen, können (nach ADRIAN) nur in Neuronenkreisen erfolgen, die zu dieser Zeit nicht aktiv sind; beim Eintreffen peripherer Reize kommt es zu einer Desynchronisation der Neuronen-Aktivität, und die einzelnen Neuronen können nun zu Gliedern in differenzierteren Erregungskonstellationen werden, wobei

jedes Neuron zu einem anderen Zeitpunkt entlädt.

Ebenso hat BERGER schon vermutet, daß subcorticale, thalamische Strukturen einen regulierenden Einfluß auf das EEG ausüben. Untersuchungen von DUSSE de BARENNE, CHANG, BREMER und anderen haben in der Folge gezeigt, daß sich die elektrische Aktivität bestimmter corticaler Projektionsfelder und die elektrische Aktivität der entsprechenden thalamischen Relaiskerne tatsächlich gegenseitig beeinflussen können. Man kam daher zu der Annahme, daß die Spontan-Rhythmen des EEG zwar auf der Tätigkeit von synchron entladenden corticalen Neuronenkreisen beruhen, daß diese aber durch Erregungsvorgänge aufrechterhalten werden, die zwischen thalamischen und corticalen Strukturen wechselseitig ablaufen. Diese wechselseitige Wirkung läßt sich nach der Art eines Resonanz-Systems verstehen, wobei den subcorticalen Strukturen und ihrer rhythmischen Erregung gewissermaßen die Rolle eines Schrittmachers zuzuschreiben wäre.

Diese theoretischen Vorstellungen, die zunächst für die Wechselwirkung zwischen bestimmten Thalamuskernen und zugeordneten spezifischen Rindenarealen entwickelt wurden (CHANG), haben im vergangenen Jahrzehnt eine weitere Modifikation durch die Entdeckung und Erforschung der sogenannten unspezifischen Projektionssysteme erfahren. Diese Forschungsergebnisse haben zu der Auffassung einer mehr allgemeinen und diffusen Einwirkung tieferer, im Mittel- und Zwischenhirn gelegener Funktionsstrukturen ^{+) auf die Hirnrinde geführt. Im Besonderen nimmt man, gestützt auf zahlreiche tierexperimentelle Untersuchungen, an, daß durch die von den Reticulärformationen des Hirnstamms ausgehenden, über die unspezifischen Projektionssysteme geleiteten Einflüsse der allgemeine Synchronisations- bzw. Desynchronisationsgrad der Hirnrhythmen und damit das corticale Erregungsniveau gesteuert wird. Man spricht daher auch von einem unspezifischen Aktivierungssystem, dessen Reizung im Tierexperiment (MAGOUN) zu einer Blockierung der corticalen Ruherhythmen und ihrem Ersatz durch eine schnelle, desynchronisierte Aktivität führt. Parallel mit dieser Veränderung der corticalen Rhythmen ist im Verhalten des Tieres ein deutlicher Weck-Effekt festzustellen, weshalb man diese Reaktion auch als "arousal re-}

^{+) Diese Funktionsstrukturen werden als "formatio reticularis" bezeichnet, da sie im Gegensatz zu scharf abgegrenzten Kerngebieten eine relativ weitläufige, netzartige Struktur aufweisen.}

action" bezeichnet hat. Das Erregungsniveau des unspezifischen Aktivierungssystems wird seinerseits durch den sensiblen und sensorischen Reizeinstrom von der Peripherie her beeinflusst, da ein Teil der in den spezifischen Projektionsbahnen aufsteigenden Erregungen durch Kollateralverbindungen in die Reticulärformation einströmt, wo diese ihre Spezifität weitgehend verlieren und mehr im Sinne einer unspezifischen Aktivierung und Tonisierung wirksam werden. Neueste Untersuchungen haben gezeigt, daß andererseits die Reticulärformationen in ihrem Erregungszustand durch cortico-fugale Impulse - wahrscheinlich nach Art von Rückmeldungen - moduliert werden. Schließlich greifen offenbar auch chemische Überträgerstoffe, wie z.B. Adrenalin, unmittelbar an diesen Funktionssubstraten an.

Die Aktivität der reticulären Systeme scheint demnach zu einem grossen Teil verantwortlich für den "corticalen Tonus" (BREMER) und für die Regulierung des Schlaf-Wach-Mechanismus zu sein. Es läßt sich denken, daß der Übergang zum Schlaf nur dann erfolgt, wenn der Einstrom von Impulsen aus dem reticulären System in die Hirnrinde unter ein bestimmtes Minimum absinkt, das für die Aufrechterhaltung des Wachzustandes erforderlich ist. Andererseits könnte in Zuständen von Erregung eine generalisierte Entladung dieses Systems beteiligt sein.

Neben einer solchen allgemeinen Beeinflussung der Hirnrindenaktivität wird heute dem reticulären System, besonders seinen intrathalamischen Anteilen, auch noch eine differenzierte Einwirkung auf die corticalen Vorgänge zugeschrieben, und zwar im Sinne einer Regulation, welche die Verarbeitung der im Cortex eintreffenden Impulse entweder begünstigen oder hemmen kann, während sie auf die Zuleitung selbst zum Cortex keinen Einfluß zu haben scheint. Diese Auffassung läßt sich jetzt auch durch eine Reihe experimenteller Untersuchungen mit der Mikroelektroden-Ableitetechnik, die das Verhalten einzelner Nervenzellen zu beobachten gestattet, stützen.

Die besonderen Einflüsse, welche diese Anteile der unspezifischen Projektionssysteme durch Hemmung oder Begünstigung bestimmter Vorgänge in der Hirnrinde ausüben, werden von JASPER und seiner Schule als die physiologischen Grundlagen der Aufmerksamkeit angesehen. JASPER nimmt an, daß sie von einer im medialen Thalamus gelegenen Region aus wirksam werden, während die generalisierten Einflüsse, die das Aktivitätsniveau der Hirnrinde als Ganzes und damit auch die Schlaf-Wach-Regulation bestimmen, von weiter caudal gelegenen Anteilen des reticulären Systems ausgehen sollen. Inwie-

weit von den thalamischen Funktionssubstraten auch aktiv dämpfende Einflüsse (W.R. HESS) auf den Cortex ausgeübt werden und damit in den Schlafmechanismus eingreifen, ist eine heute noch nicht völlig entschiedene Frage.

Eine prinzipiell ähnliche, synthetisierende Auffassung, wie sie vorwiegend auf dem 1952 in Kanada abgehaltenen Internationalen Symposium über das Thema "Brain Mechanisms and Consciousness" vertreten worden ist, macht für die Regulierung des vegetativen Schlaf-Wach-Mechanismus das Reticulärssystem in seiner Gesamtheit verantwortlich; differenziertere Prozesse dagegen, wie die der Aufmerksamkeit, sollen von der Aktivität einzelner, sich gegenseitig überschneidender funktioneller "Einflußsphären" (PÉSSARD) und besonderer Funktionsanteile der Reticulärformation abhängig sein (HEBB, GASTAUT, FESSARD u. andere).

Nach dieser durch reichhaltige tierexperimentelle und auch klinisch-experimentelle Ergebnisse gestützten Anschauung lassen sich die elektroencephalographischen Veränderungen, die man bei Verschiebungen der Bewußtseinslage beobachten kann, weitgehend auf den Funktionszustand der Reticulärformation und der unspezifischen Projektionssysteme zurückführen. Die Theorie über den Einfluß dieser Funktionssubstrate auf die elektrische Aktivität der Hirnrinde wird heute in einer oder der anderen ihrer Formulierungen allgemein anerkannt und als Arbeitshypothese bei weiteren Forschungen zugrundegelegt. Der dynamische Einfluß, den diese Systeme auf den allgemeinen cerebralen Funktionszustand ausüben und der im Elektroencephalogramm sichtbar wird, scheint vor allem auch in einem Zusammenhang mit dem Bewußtsein zu stehen, und zwar vorwiegend mit der Seite des Bewußtseins, die sich terminologisch vielleicht am besten mit den Begriffen vigilance, Vigilität, und Vigilitätstonus (BENTE) erfassen läßt.

Mit diesen Ausführungen zeichnet sich bereits der Übergang von der mehr kausal orientierten Betrachtungsweise zu den vorwiegend funktionsanalytisch ausgerichteten Theorien ab. Letztere lassen insgesamt einen starken Einfluß technischer Denkmodelle erkennen. So vergleicht die zuerst von CRAIK (1948) formulierte und dann von GREY WALTER u. anderen weiter ausgebaut "Scanning-Theorie" die rhythmischen elektrischen Potentialschwankungen mit dem Elektronen-Strahl beim Fernsehen. Demnach würden den Alpha-Wellen Mechanismen zugrundeliegen, "die in ähnlicher Weise wie die elektronische Bildzerlegung beim Fernsehen laufend Raum-Zeitkoordinaten entwickeln, auf die sich die afferenten Erregungsmuster aus dem optischen System

vergleichsweise projizieren". ¹⁾ Wenn keine Impulse aus dem optischen System ankommen, kann diese rhythmische Aktivität ungebrochen weiterlaufen (daher ist auch der Alpha-Rhythmus am besten bei geschlossenen Augen abzuleiten); sobald sie aber auf optische Erregungsmuster in der Hirnrinde trifft, wird sie moduliert, womit die Blockierung des Alpha-Rhythmus bei Augenöffnen in Zusammenhang gebracht wird. Nach BREMER sollen diese rhythmischen Potentialschwankungen die Aufgabe haben, ein optimales Erregbarkeitsniveau an den Synapsen der corticalen Nervenzellen aufrechtzuerhalten, sodaß eine unmittelbare Aufnahme und Verarbeitung der in der Hirnrinde eintreffenden Impulse gewährleistet ist.

DARROW, der übrigens schon früher (1947) als die vorher genannten Autoren einen ähnlichen Vergleich für den Alpha-Rhythmus, nämlich den mit dem Suchstrahl eines Radar-Gerätes, gebracht hat, sieht die Aufgabe der rhythmischen Potentialschwankungen vor allem in der Einschränkung einer Erregungsausbreitung in der Hirnrinde, da in jeder Zehntel-Sekunde, in der die Alpha-Welle ihre verschiedenen Phasen durchläuft, neben einem Stadium der höchsten auch ein solches der niedrigsten Erregbarkeit, also ein Erholungsstadium, gegeben sein muß. So hat nach DARROWS Meinung das völlige Fehlen des Alpha-Rhythmus (und damit das Fehlen der nach jeder Zehntel-Sekunde wiederkehrenden neuronalen Erholungsphase) bei Menschen mit Erregungszuständen nicht nur als eine Folge der Erregung zu gelten, sondern gleichzeitig auch als ein Zustand, der die Ausbreitung und Aufrechterhaltung der Erregung begünstigt. Auch GASTAUTS Typen der Hypo- und der Hyperexcitabilität sind in diesem Zusammenhang zu verstehen.

Der Spontanrhythmus der Hirnrinde und insbesondere dem Alpha-Rhythmus scheint also eine doppelte Aufgabe gegenüber den zentripetalen Reizen zuzukommen: nämlich Bahnung und Hemmung. Mit dem Begriff Bahnung soll ausgedrückt werden, daß die im Cortex ankommenden Reize nicht eine Null-Lage der Erregung, sondern schon ein gewisses neuronales Erregungsniveau antreffen, das durch die Spontanrhythmen aufrechterhalten wird, sodaß auch relativ schwache Reize noch unmittelbar wirksam werden können. Der Alpha-Rhythmus des menschlichen Elektroencephalogramms wird deshalb auch manchmal mit dem Leerlaufgang beim Auto verglichen, da er zwar in Verbindung mit der mittleren Bewußtseinslage des "entspannten Wachzustandes",

1)

MÜLLER-LIMMROTH, W. u. CASPERS, H., Klin. Wschr. 1956, 34:337, S. 338

also bei psychischer Inaktivität, auftritt, aber gleichzeitig die Möglichkeit zu einer sofortigen Aktivierung, gewissermassen zum "Losfahren", bietet.

Die andere Funktion der Hirnrhythmen, die *Hemmung* der Erregungsausbreitung, gibt die Gewähr, "daß unsere Wahrnehmungswelt und unsere Reaktionen ihr gegenüber nicht durch den mehr oder weniger kontinuierlichen Einstrom sensorischer Reize verzerrt oder verwischt werden." ¹⁾

Als Beispiel dafür, wie ein regulierender Einfluß des Alpha-Rhythmus auf den Reizeinstrom schon an der Peripherie wirksam werden könnte, führt LINDSLEY die Beobachtung an, daß bei einer Verschiebung des Augapfels durch Fingerdruck sich das optische Feld mitbewegt, während es bei willkürlichen Augenbewegungen, z.B. beim Lesen, zu Einzelfixierungen ohne Verwischungen kommt. Dies könnte auf die Wirkung eines Synchronisations-Mechanismus zurückgehen, der eine Aktivierung der Augenmuskeln immer nur dann erlauben würde, wenn die Alpha-Wellen der optischen Hirnrinde ihre Phase der Unerregbarkeit durchlaufen. Aber nicht nur peripher, sondern vor allem auch zentral muß eine Regulierung des Reizeinstromes vor sich gehen, da es sonst zu einer Reizüberflutung und allgemeinen Erregungsausbreitung im Cortex käme.

In diesem Sinne wird auch von R. JUNG die wesentliche Aufgabe des Alpha-Rhythmus in der Aufrechterhaltung einer mittleren Erregungslage und der Abstimmung bahnender und hemmender Einflüsse gesehen.

Wenn die Hypothese stimmt, daß die Alpha-Welle innerhalb jeder Zehntel-Sekunde sowohl ein Stadium gesteigerter als auch ein Stadium herabgesetzter Erregbarkeit durchläuft, dann müßten sich Beziehungen zwischen der Zeitkomponente gewisser psychischer Phänomene und dem Rhythmus von 10 Wellen pro Sekunde auffinden lassen.

Von dieser Überlegung ging eine Reihe von Experimenten aus. So berichtet BARTLEY (1939), daß bei Versuchen über subjektive Helligkeitsempfindungen, die mit intermittierenden Lichtreizen vorgenommen werden, ein scheinbares Anwachsen der Helligkeit auf das Doppelte der Helligkeit einer stetigen Beleuchtung gleicher Lichtstärke zu beobachten ist, wenn die Frequenz der intermittierenden Lichtreize 9-10/sec. beträgt ("Brücke-Effekt"). Bei anderen

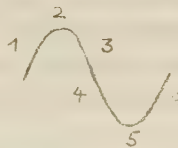
¹⁾ LINDSLEY, D.B., EEG Clin. Neurophysiol. 1952, 4:413

Frequenzen wird die objektiv gleiche Helligkeit als viel geringer empfunden. So tritt ja bei höheren Frequenzen bekanntlich der "Talbot-Effekt" ein, d.h., bei einer Hell-Dunkel-Ratio von 1:1 erscheint dem Betrachter das Licht nur halb so hell wie eine stetige Beleuchtung gleicher Lichtstärke. Die Tatsache, daß subjektiv ein deutlich ausgeprägter Helligkeitszuwachs verzeichnet wird, wenn die Flimmerfrequenz die Frequenz des Alpha-Rhythmus erreicht, läßt einen Zusammenhang mit dem Erregbarkeitszyklus des Alpha-Rhythmus vermuten.

Wie KIBBLER u. Mitarbeiter gezeigt haben (1949, 1950), erfolgen auch die willkürlichen motorischen Innervationen im Zusammenhang mit bestimmten Phasen der Alpha-Welle häufiger als in den übrigen Phasen.

Neuerdings wurde von LANSING (1957) die Beziehung zwischen Länge der Reaktionszeit (bei motorischen Reaktionen auf optische Reize) und Alpha-Phase untersucht. Die Zeiten, die vom Einsetzen des Lichtreizes bis zur motorischen Reaktion gemessen werden, liegen zwischen 125 u. 250 msec, wovon für die Übertragung der Impulse zum und vom Cortex nur 50 msec benötigt werden. In der übrigen Zeit müssen sich zentrale Übertragungsvorgänge abspielen. Eine Versuchsanordnung, die es erlaubte, Lichtreiz und motorische Reaktion mit dem Alpha-Rhythmus der occipitalen und der motorischen Hirnregionen zusammen auf einer Kurve zu registrieren, zeigte, daß die Reaktionszeiten am kürzesten waren, wenn der Lichtreiz in die Phasen 1 und 2 einer occipitalen Alpha-Welle fiel, und daß die motorischen Reaktionen am häufigsten während der Phasen 4 bis 5 erfolgte. Wenn man die 35 msec., welche zur Transmission des Reizes von

der Peripherie zu den optischen Rindenfeldern benötigt werden, mitberücksichtigt, ergibt sich die Phase 3 bis 4 als die der höchsten Erregbarkeit. Für die motorische Reaktion findet man nach Abzug der zentrifugalen Transmissionszeit, welche 15 msec. beträgt, ebenfalls die Phase 3 bis 4 als häufigsten Ausgangspunkt.



Die Zeitspanne, die zwischen Reiz und Reaktion verstreicht, scheint also weitgehend davon mitbestimmt zu werden, in welcher Alpha-Phase der Reiz im optischen Cortex eintrifft. Ist es die Phase der höchsten Erregbarkeit, dann treten die entsprechenden zentralen Übertragungsmechanismen offensichtlich schneller in Aktion als bei an-

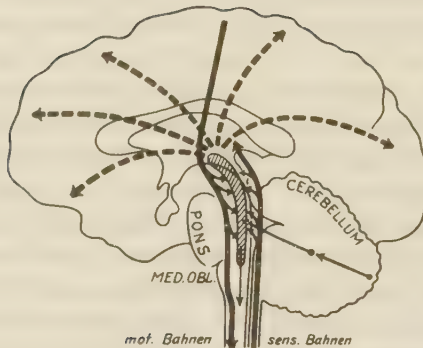
deren Phasen, und die gesamte Reaktionszeit wird dadurch kürzer.

Die Beziehung zwischen Höhe der Alpha-Frequenz und Raschheit der Auffassung, über die H.GASTAUT (1954) schreibt, und diejenige zwischen Alpha-Frequenz und psychomotorischem Tempo, welche von MUNDY-CASTLE (1955) festgestellt wurde, läßt sich vielleicht ebenfalls in diesem Zusammenhang verstehen; der schnellere Ablauf der perzeptiven und motorischen Funktionen bei Menschen mit höheren Alpha-Frequenzen könnte auf die häufigere Wiederkehr der Erregbarkeitsphasen des Alpha-Zyklus zurückgeführt werden.

Auch die "optische Momentzeit", also die Zeit zwischen zwei optischen Reizen, die gerade noch deren getrennte Wahrnehmung erlaubt, dürfte von der Frequenz des Alpha-Rhythmus abhängig sein. Eigene Untersuchungen an der Universitäts-Nervenklinik Erlangen ergaben, daß unter der Einwirkung von Medikamenten, die eine Verlangsamung im EEG hervorrufen, auch die Momentzeit gegenüber den Ausgangswerten deutlich verlängert wurde; je ausgeprägter unter einem bestimmten Medikament die elektroencephalographische Verlangsamung war, desto mehr verlängerte sich die Momentzeit. Sobald das EEG sich nach dem Abklingen der medikamentösen Wirkung wieder normalisierte, ging auch die Momentzeit auf ihre Ausgangswerte zurück.

Alle diese experimentellen Ergebnisse scheinen also die Annahme zu bestätigen, daß die Spontanrhythmen der Großhirnrinde einen Einfluß auf den zeitlichen Ablauf gewisser psychischer Funktionen haben.

Um nun den Inhalt der heute am meisten anerkannten und als Arbeitshypothese verwendeten Theorien noch einmal kurz zusammenzufassen: die Spontanrhythmen entstehen in der Hirnrinde, aber sie werden durch subcorticale Strukturen, insbesondere durch die unspezifischen Projektionssysteme des Zwischen- und Mittelhirns, die eine allgemeine Hebung oder Senkung des corticalen Aktivitätsniveaus bewirken können, weitgehend beeinflußt. Der Alpha-Rhythmus scheint die Aufgabe zu haben, ein optimales Erregbarkeitsniveau in der Hirnrinde aufrechtzuerhalten, womit eine unmittelbare Verarbeitung eintreffender Reize ermöglicht wird. Durch die Zusammensetzung jeder einzelnen Alpha-Welle aus einer Phase stärkster und einer Phase geringster Erregbarkeit ergibt sich neben der bahnenden aber auch eine hemmende Funktion des Alpha-Rhythmus, welche das Hirn vor einer allgemeinen Reizüberflutung und ungerichteten Erregungsausbreitung bewahrt.



Schematische Darstellung des reticulo-thalamo-corticalen Systems. Die Formatio reticularis des Hirnstamms (schraffiert) erhält Impulse über alle sensiblen Bahnen (ebenso von den akustischen und optischen Bahnen), ferner fördernde und hemmende Impulse von den Pyramiden- und extrapyramidalen Bahnen und vom Kleinhirn. Sie wirkt sich diffus auf fast die ganze Großhirnrinde aus (unterbrochene Pfeile) und auf die Vorderhornzellen des Rückenmarks (dünner Pfeil nach unten). (Nach MAGOUN, leicht modifiziert).

Aus: H. REIN, Einführung in die Physiologie des Menschen (herausgegeben von M. SCHNEIDER) Berlin-Göttingen-Heidelberg 1955, S. 473.

Hier erhebt sich nun die Frage, ob das junge Wissenschaftsgebiet der Elektroencephalographie mit seinen bisherigen Ergebnissen irgendwelche neuen Einsichten in das Problem des Leib-Seele-Zusammenhangs ermöglicht hat. Schließlich ist die Elektroencephalographie ja die Methode, die es erstmalig erlaubt, zwar nicht die Hirntätigkeit schlechthin, aber doch gewisse Aspekte derselben unmittelbar zu registrieren und in ihrem Verlauf zu beobachten; es liegt also nahe, von ihr derartige Aufschlüsse zu erwarten, da man ja weiß, daß alle geistig-seelischen Vorgänge an physiologische Hirnprozesse gebunden sind.

Hierauf soll vorwegnehmend gleich geantwortet werden, daß durch die elektroencephalographische Forschung keine grundlegenden neuen Erkenntnisse zum Problem des Zusammenhangs zwischen dem leiblichen und dem psychischen Geschehen gewonnen werden konnten.

Jedoch ergibt die Beschäftigung mit der neuen Forschungsmethode und ihren Resultaten einen Anlaß, erneut die Frage zu stellen, wie sich der Zusammenhang zwischen körperlichen und seelischen Vorgängen denken läßt. Welche der schon bestehenden Theorien über den psychophysischen Zusammenhang halten der Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Elektroencephalographie am besten stand?

Es kann hier nicht auf die alte Streitfrage "Parallelismus oder Wechselwirkung" und sämtliche Theorien seit DESCARTES, die eine Lösung dieser Frage in dem einen oder dem anderen Sinn versucht haben, eingegangen werden.

Eine Theorie, welche eine Verbindung zwischen den beiden gegensätzlichen Auffassungen herstellt, da sie "den engen Zusammenhang des ganzen bewußt-seelischen Geschehens mit materiellen Großhirnvorgängen ebenso gut gerecht wird wie der Parallelismus, ... dabei (aber) doch die uns von den Erfahrungstatsachen so nahegelegte Auffassung anerkennt, daß Körperliches und Seelisches aufeinander wirken", ¹⁾ wurde von C.STUMPF entwickelt und von E.BECHER als "Doppelursachen-Doppelwirkungshypothese" weiter ausgebaut - etwa zu der gleichen Zeit, in der H.BERGER die ersten Versuche zur Ableitung der Hirnströme unternahm.

Diese Theorie besagt, daß die enge Verknüpfung zwischen den nervösen Vorgängen in der Großhirnrinde und den seelischen Vorgängen dadurch zustandekommt, daß ständig die nervösen Vorgänge die seeli-

¹⁾ BECHER, E., Einführung in die Philosophie, S.225

schen, und die seelischen Vorgänge die nervösen beeinflussen. "Jeder von diesen materieller Vorgängen (in der Großhirnrinde) hat also einerseits einen vorhergehenden materiellen Vorgang als Teilursache, den er gleichsam fortsetzt; andererseits ist er auch von der seelischen Vorgangsreihe her beeinflusst. Ebenso haben auch die seelischen Vorgänge ... seelische Teilursachen, während sie zugleich unter dem mitbestimmenden Einfluß materieller Teilursachen, nämlich nervöser Großhirnvorgänge stehen ('Doppelursachenhypothese'). Materielle Vorgänge im Großhirn setzen sich wirkend in materiellen Vorgängen fort, wirken aber zugleich mitbestimmend aufs seelische Geschehen; umgekehrt setzen sich seelische Vorgänge wirkend in seelischen Vorgängen fort, wirken aber zugleich aufs materielle Geschehen im Großhirn ('Doppeltreffekthypothese!')". ¹⁾ Ebenso hat ein Impuls, der von der Peripherie her in der Großhirnrinde eintrifft, sowohl einen im zentralnervösen Geschehen fortwirkenden als auch einen psychischen Effekt, während eine Willkürbewegung, oder besser deren innervatorisches Substrat, einerseits eine Wirkung und Fortsetzung bestimmter Vorgänge in der Großhirnrinde darstellt, andererseits von seelischen Teilursachen, vor allem vom Willensakt, mitbestimmt wird.

Diese Auffassung von der jeweils doppelten "Ursache" und "Wirkung" der psychischen Vorgänge und der Großhirnvorgänge, die zu einem Parallelgehen der beiden Erscheinungen führt, scheint den Verhältnissen, wie wir sie auch mit Hilfe der funktionellen Elektroencephalographie beobachten können, immer noch weitgehend gerecht zu werden. Mit den Ausführungszeichen um die Worte "Ursache" und "Wirkung" ist jedoch schon angedeutet, wo vielleicht eine Kritik ansetzen könnte. Die Beobachtungen und Forschungsergebnisse, die in den letzten Jahrzehnten auf allen den Gebieten gewonnen wurden, die sich in irgend einer Weise mit dem Zusammenhang zwischen seelischen und körperlichen Erscheinungen beschäftigen, scheinen nämlich der Ansicht zu widersprechen, daß bei der Wechselbeziehung zwischen den psychischen und physiologischen Vorgängen zwei voneinander grundlegend verschiedene Substanzen im Sinne der cartesianischen res cogitans und res extensa kausal aufeinander einwirken. Bei den Vertretern dieser Forschungsrichtungen, ganz besonders auch in der psychosomatischen Medizin, findet man heute häufig - ob nun ausgesprochen

1)

E.BECHER, a.a.O., S.224

oder nur andeutungsweise erkennbar - das Abrücken von der dualistischen und die Hinwendung zu einer monistischen Auffassung, für die man jedoch den Ausdruck "holistisch" bevorzugt, um sie vom philosophischen Monismus zu unterscheiden, da sie sich nicht wie dieser auf die Beziehung zwischen Geist und Materie im allgemeinen, sondern nur auf das Ineinanderwirken von psychischen und physiologischen Vorgängen bei lebenden Organismen, vorzugsweise beim Menschen, erstreckt. So gibt es nach DELAY gar kein Problem des psychophysischen Zusammenhanges, sondern nur ein Problem des psychophysiologischen Zusammenhanges, da wir seelische Erscheinungen und somit auch ein Zusammenwirken von solchen mit "materiellen" Erscheinungen immer nur an lebenden Wesen beobachten können.

Nach der holistischen Auffassung kommt der Zusammenhang und die gegenseitige Beeinflussung von seelischem und körperlichem Geschehen, der uns als Erfahrungstatsache gegeben ist, nicht auf kausale Weise zustande, sondern ist darin begründet, daß Seelisches und Körperliches die beiden Aspekte sind, unter denen uns ein Drittes, nämlich der psychophysisch neutrale Gesamtorganismus erscheint. Dies ist jedoch nicht im Sinne eines parallelistischen Zwei-Seiten-Monismus zu verstehen, wonach Körperliches und Seelisches als zwei Erscheinungsweisen derselben Substanz immer parallel laufen, ohne jemals aufeinander einzuwirken, sondern unter Anerkennung der Erfahrungstatsache, daß das körperliche Geschehen das psychische, und das psychische Geschehen das körperliche beeinflussen kann, so wie es die Doppelursachen-Doppeleffekt-Hypothese ausgedrückt hat. Nur würde nach der neueren Auffassung eine Veränderung der einen Vorgangsreihe den Gesamtorganismus und erst dadurch möglicherweise auch die andere Vorgangsreihe betreffen. Die gegenseitige Beeinflussung von Körperlichem und Seelischem verlief demnach also nicht vom physiologischen Vorgang zum psychischen Vorgang und vom psychischen Vorgang zum physiologischen Vorgang, sondern vom physiologischen Vorgang über den Gesamtorganismus zum psychischen Vorgang, und vom psychischen Vorgang über den Gesamtorganismus zum physiologischen Vorgang. Damit wäre auch die nicht-durchgängige Beziehung zwischen den beiden Vorgangsreihen berücksichtigt, denn ob eine Veränderung der einen Seite auch die andere Seite beeinflusst oder nicht, hängt dann ab von der Art und dem Ausmaß, in dem der Gesamtorganismus von dieser Veränderung betroffen wird.

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN

Wir haben also gesehen, daß das EEG eine völlig neue Möglichkeit bietet, einen unmittelbaren Einblick in das Hirngeschehen zu gewinnen. Die Grenzen dieser Methode sind jedoch dadurch festgelegt, daß sie nur die gemeinsame Tätigkeit großer Neuronenverbände erfaßt und also keinen Aufschluß über differenziertere cerebrale Vorgänge geben kann.

Für die Psychologie liegt der Wert der Elektroencephalographie darin, daß diese außer den diagnostischen Möglichkeiten, welche bei Beratungsfällen die Feststellung oder den Ausschluß zugrundeliegender cerebraler Funktionsstörungen erlauben, auch der psychologischen Forschung neue Ansatzpunkte bieten kann.

Die bisher vorwiegend angewandte statische Ableitemethode, welche die Hirnströme des ruhenden Menschen erfaßt, hat allerdings nur statistische Korrelationen zwischen EEG-Merkmalen und einigen psychologischen Phänomenen ergeben. Jedoch scheinen die Arbeiten der letzten Jahre darauf hinzuweisen, daß die statische Betrachtungsweise des EEG, die in der Hauptsache zur Feststellung von Häufigkeitsbeziehungen führt, allmählich zugunsten einer mehr funktionell-dynamischen Betrachtungsweise verlassen wird. Für die psychologische Forschung kann diese Methode der funktionellen Elektroencephalographie insofern von Wert sein, als sie es erlaubt, die gegenseitige Abhängigkeit von hirnelektrischer Tätigkeit und verschiedenen psychischen Vorgängen unmittelbar zu beobachten.

Heute sind die Möglichkeiten für solche Untersuchungen noch sehr beschränkt, und zwar hauptsächlich wegen der Versuchsbedingungen, die es erfordern, daß die Vp während der Ableitung ruhig im Ableiterraum sitzenbleibt. Eine weitere technische Ausarbeitung der sogenannten radio-elektroencephalographischen Methode, die eine drahtlose Übertragung der von der Schädeloberfläche abgenommenen Potentiale auf ein räumlich unabhängiges Verstärker- und Registriergerät gestattet, wird für die elektroencephalographisch-psychologische Forschung vielleicht neue Perspektiven eröffnen.

LITERATUR

1. Adam, A. et J. Schuermans, Troubles du comportement et électro-encéphalographie chez l'enfant. Ann. médico-psychol. 1949, 107:80
2. Adrian, E.D. and B.H.C. Matthews, The Berger-rhythm: potential changes from the occipital lobes in man. Brain 1934, 57:355
3. Adrian, E.D., L'interprétation psychologique des électroencéphalogrammes. 11. International. Kongreß f. Psychologie, Paris 1937
4. Amoroso, M., The Rorschach Test as an aid to electroencephalographic analysis. Fed. Proc. 1949, 8:4
5. Bagchi, B.K., The adaptation and variability of response of the human brain rhythm. J. Psychol. 1937, 3:463
6. Bakes, F.P., Effect of response to auditory stimulation on the latent time of blocking of the Berger rhythm. J. exp. Psychol. 1939, 24:406
7. Bard, P. and V.B. Mountcastle, Some forebrain mechanisms involved in expression of rage with special reference to suppression of angry behavior. Res. Publ. Ass. nerv. ment. Dis. 1948, 27:362
8. Barker, W. and S. Burgwin, Brain wave patterns accompanying changes in sleep and wakefulness during hypnosis. Psychosomat. Med. 1948, 10:317
9. - - , Brain wave patterns during hypnosis, hypnotic sleep and normal sleep. Arch. Neurol. Psychiat. 1949, 62:412
10. Barnes, T.C., EEG validation of the Rorschach, Hunt and Bender Gestalt Tests. Amer. Psychol. 1950, 5:322
11. Barrat, P.E., Use of the EEG in the study of imagery. Brit. J. Psychol. 1956, 47:101
12. Bartley, S.H., Some factors in brightness discrimination Psychol. Rev. 1939, 46:337
13. - , The relation between cortical response to visual stimulation and changes in the Alpha rhythm. J. exp. Psychol. 1940, 27:264
14. Becher, E., Einführung in die Philosophie, München 1926
15. Bente, D., Klinische Gesichtspunkte zur Wirkungsweise der neuroleptischen Behandlungsverfahren. Merck's Jahresber. 1956/57:25

16. Bente, D. und T. Itil, Elektroencephalographische Befunde zur Wirkungsweise der neuroleptischen Behandlungsverfahren
Arzneim.-Forsch. 1957,7:611
17. Bente, D., E. Schönhärl u. J.Krump, Elektroencephalographische Befunde bei Stotterern und ihre Bedeutung für die medikamentöse Therapie. Arch. Ohren- usw. Heilk. 1956,169:513
18. Berger, H., Das Elektrenkephalogramm des Menschen und seine Bedeutung für die Psychophysiologie. Z.f.Psychol.1932,126:1
19. - , Das Elektrenkephalogramm des Menschen und seine psychophysiologische Deutung. 11.Internat.Kongreß f.Psychologie, Paris 1937
20. Bernhaut, M., E. Gellhorn u. A.T. Rasmussen, Experimental contributions to the problem of consciousness
J. Neurophysiol. 1953,16:21
21. Benkalo, A., J.W.L. Doust and A.B. Stokes, Physiological concomitants of the phasic disturbances seen in periodic catatonia. Am.J.psychiat.1955,112:114
22. Boreham, J.L., G.O. Kibbler and D. Richter, A relation between a psychomotor response and the phase of the Alpha-rhythm.
J.Physiol. 1949,109:17 P
23. Brazier, M.A.B., Physiological mechanisms underlying the electrical activity of the brain.
J. Neurol.Neurosurg.Psychiat., 1948,11:118
24. - , J.W. Finesinger and S. Cobb, A contrast between the Electroencephalograms of 100 psychoneurotic patients and those of 500 normal adults. Amer.J.Psychiat.1945,101:443
25. Brill, N.Q. and H. Seidemann, The Electorencephalogram of normal children. Amer.J.Psychiat. 1941,98:250
26. - , - , H. Montague and B.H. Balser, Electroencephalographic studies in delinquent behavior problem children.
Am.J.Psychiat. 1942,98:494
27. Brown, W.T. and C. Solomon, Delinquency and the Electroencephalograph. Amer.J.Psychiat.1942,98:499
28. Burrow, T. and W. Galt, Electroencephalographic recordings of varying aspects of attention in relation to behavior.
J.gen.Psychol.1945,32:269
29. Buser, P., Quelques problèmes posés à propos de l'interprétation de l'activité électrique du cortex cérébral.
Ann.Psychol.1949,51:137

30. Cattell, J.P. and B.L. Pacella, An electroencephalographic and clinical study of children with primary behavior disorders.
Amer.J.Psychiat. 1950,107:25
31. Cobb, S. (editor), The biology of mental health and disease.
New York 1952
32. Cohn, R., Influence of emotion on human electroencephalogram.
J.nerv.ment.Dis. 1946,104:351
33. Colony, H.S. and S.E. Willis, Electroencephalographic studies of 1000 schizophrenic patients.
Am.J.Psychiat.1956,13:163
34. Cruikshank, R.M., Human occipital brain potentials as affected by intensity-duration variables of visual stimulation.
J.exp.Psychol.1937,21:625
35. Dale, P.W. and Busse, E.W., An elaboration of a distinctive EEG pattern found during drowsy states in children.
Dis.nerv.Syst. 1951,12:122
36. Darrow, C.W., The electroencephalogram and psychophysiological regulation in the brain.
Amer.J.Psychiat.1946,102:791
37. - , Psychological and psychophysiological significance of the electroencephalogram.
Psychol.Rev. 1947,54:157
38. Davis, H. and P.A. Davis, The electrical activity of the brain: its relation to physiological states and to states of impaired consciousness.
Ass.Res.nerv.ment.Dis. 1938,19:50
39. Davis, P.A. and H. Davis, The electroencephalogram of psychotic patients.
Am.J.Psychiat. 1939,95:1007
40. Davis, P.A. Electroencephalograms of manic-depressive patients.
Am.J.Psychiat. 1941,98:430
41. Delafresnaye, J.F. (editor), Brain mechanisms and consciousness.
Oxford 1954
42. Delay, J., Les ondes cérébrales et la psychologie.
Paris 1950
43. Diethelm, O. and D.J. Simons, Electroencephalographic findings in psychopathic personalities.
J.nerv.and ment.Dis. 1945,102:611
44. Das, N. et H. Gastaut, Variations de l'activité électrique du cerveau, du coeur et des muscles squelettiques au cours

de la méditation et de l'extase yogique.

In: Conditionnement et réactivité en électroencéphalographie (H.Fischgold u. H. Gastaut) Paris 1957

45. Drever, J., Some observations on the occipital Alpha-rhythm.
Quart.J.exp.Psychol.1955,7:91
46. Dreyfus-Brisac, C. et C. Blanc, Electroencéphalogramme et maturation cérébrale.
L'Encéphale 1956,45:205
47. Duensing, F., Das Elektrencephalogramm bei Störungen der Bewusstseinslage.
Arch.f.Psychiat.1949,183:71
48. Eccles, J.C., The neurophysiological basis of mind.
Oxford 1953
49. Eickoff, L.F.W. and C.A. Beevers, The electroencephalogram in maladjusted children.
Amer.J.Psychiat.1947,104:194
50. Ellingson, R.J., The incidence of EEG abnormality among patients with mental disorders of apparently nonorganic origin: a critical review.
Am.J. Psychiat. 1954,111:263
51. - , Brain waves and problems of psychology.
Psychol.Bull. 1956,5:1
52. Engel, G.L., J. Romano and Ferris, E.B., Variations in the normal Electroencephalogram during a five-year period.
53. Euzière, J., R. Lafon, P. Passouant et H. Latour, Les anomalies électroencéphalographiques au cours des troubles caracté-
riels de l'enfant.
Arch.Franç.Pédiat. 1950,7:752
54. Faure, J., Modifications de l'EEG provoquées par la vue des planches de Murray (TAT) chez les nevropathes.
Rev.Neurol.1949,81:546
55. - , Etude électroencéphalographique des modifications de l'affectivité.
EEG Clin.Neurophysiol.1950,2:106
56. - , Modifications de l'électroencéphalogramme provoquées par la vue des planches de Rorschach.
EEG Clin.Neurophysiol.1950,2:350
57. - , D'une approche bio-électrique des émotions.
J.Physiol.1950,42:589
58. - , D'une constitution "bioélectrique" de l'hyper-émotivité.
L'Encéphale 1950,39:236

59. Fischgold, H. et C. Dreyfus-Brisac, Savoir interpréter un électroencéphalogramme.
Brüssel-Paris 1957
60. Fischgold, H. et H. Gastaut, (éd.), Conditionnement et réactivité en électroencéphalographie.
Paris 1957
61. Feldman, H., L'EEG dans les troubles du caractère et du comportement chez l'enfant.
Schweiz.Arch.Neurol.Psychiat.1952,69:170
62. Finley, K.H. and M. Campbell, Electroencephalography in schizophrenia.
Am.J.Psychiat. 1941,98:374
63. Ford, W.L. and C.L. Yeager, Changes in the EEG in subjects under hypnosis.
Dis.nerv.System 1948,9:190
64. Forssman, H. and T.S. Frey, Electroencephalograms of boys with behavior disorders.
Acta Psychiat. et Neurol. Scand. 1953,28:61
65. Fowler, O., Neurophysiological and psychological changes induced by certain drugs: II. electrocortical changes.
J.exp.Psychol.1941,28:37
66. Franek, B. und R. Thren, Hirnelektrische Befunde bei gestuften aktiven Hypnoseübungen.
Arch.Psychiat.Nervenkr.1949,181:360
67. Gallagher, J.R., E.L. Gibbs and F.A. Gibbs, Relation between the electrical activity of the cortex and the personality in adolescent boys.
Psychosomat.Med.1942,4:134
68. Gallais, P., J. Bert, J. Corriol et G. Miletto, Les rythmes EEG des noirs d'Afrique.
Rev.neurol.1950,83:622
69. Ganglberger, J.A., Ausgereiftes EEG bei einer hochbegabten Fünfjährigen.
Wien.Zschr.Nervenkr.1954,10:231
70. Garsche, R., Elektroencephalographie, in: Biologische Daten für den Kinderarzt (Herausg. J.Brock) Berlin-Göttingen-Heidelberg 1954.
71. Gastaut, H., L'activité électrique cérébrale en relation avec les grands problèmes psychologiques.
Ann.Psychol.1949,51:61

72. Gastaut, H., The brain stem and cerebral electrogenesis in relation to consciousness, in: Brain mechanisms and consciousness.
Mass.
Oxford 1954
73. - , The Epilepsies, electro-clinical correlations.
Springfield/Ill. 1954
74. - , Y. Gastaut, A. Roger, J. Corriol et R.Naquet, Etude électroencéphalographique du cycle d'excitabilité cortical.
EEG Clin.Neurophysiol.1951,3:401
75. - , et J. Bert, EEG changes during cinematographic presentation (moving picture activation of the EEG).
EEG Clin.Neurophysiol.1954,6:433
76. Gellhorn, E., Physiological processes related to consciousness and perception.
Brain 1954,77/401
77. - , W.P. Koella and H.M. Ballin, Interaction on cerebral cortex of acoustic or optic with nociceptive impulses: the problem of consciousness.
J.Neurophysiol.1954,17:14
78. Gibbs, F.A., Interpretation of the EEG.
J.Psychol.1937,4:365
79. - , Der gegenwärtige Stand der klinischen Electroencephalographie.
Arch.f.Psychiat.1949,183:2
80. - , B.K. Bagchi and W. Bloemberg, Electroencephalographic study of criminals.
Am.J.Psychiat.1945,102:294
81. - , and E.L. Gibbs, Atlas of Electroencephalography, vol.I Methodology and controls, vol.II Epilepsy
Cambridge/Mass. 1950 1952
82. Glaser, G.H., Panel discussion: recent concepts of central neurophysiology; their bearing on psychosomatic phenomena.
Psychosomat.Med.1955,17:337
83. Golla, F., E.L. Hutton and W.G. Walter, Objective study of mental imagery; I. physiological concomitants.
J.ment.Sci.1943,89:216
84. Gottlieb, J.S., M.C. Ashby and J.R. Knott, Primary behavior disorders and psychopathic personality; II. The inheritance of electrocortical activity.
Am.J.Psychiat.1947,103:823

85. Gottlober, A.B., The relationship between brain potentials and personality.
J.exp.Psychol.1938,22:67
86. - , The inheritance of brain potential patterns.
J.exp.Psychol.1938,22:193
87. Gottschalk, L.A., Psychologic conflict and electroencephalographic patterns.
Arch.Neurol.Psychiat.1955,73:656
88. Grünthal, E. und M. Remy, Zur Frage nach dem Wesen und der Bedeutung des menschlichen Alpha-Rhythmus im EEG.
Mschr.Psychiat.Neurol.1951,122:319
89. Hadley, J.M., Some relationships between electrical signs of central and peripheral activity: II. during "mental work".
J.exp.Psychol.1941,28:53
90. Hawkes, C.D. and M. Roark, Electroencephalograms of behavior problem children.
EEG Clin.Neurophysiol. 1951,3:105
91. Heath, R.G., Correlations between levels of psychological awareness and physiological activity in the central nervous system.
Psychosomat.Med.1955,17:383
92. Hebb, D.O., Organization of behavior.
New York 1949
93. Henry, C.E. and J.R. Knott, A note on the relationship between "personality" and the Alpha rhythm of the electroencephalogram.
J.exp.Psychol.1941,28:362
94. Hill, D., Cerebral Dysrhythmia: its significance in aggressive behavior.
Proc.Roy.Soc.Med.1944,37:317
95. - , EEG in episodic psychotic and psychopathic behavior. A classification of data.
EEG Clin.Neurophysiol.1952,4:419
96. - , and D. Watterson, Electroencephalographic studies of psychopathic personalities.
J.Neurol.Psychiat.1942,47:5
97. - , and Parr, G. (editors), Electroencephalography; a symposium on its various aspects.
London 1950

98. Hoagland, H., D.E. Cameron and M.A. Rubin, Emotion in man as tested by the Delta index of the electroencephalogram: I.
J.gen.Psychol.1938,19:227
99. - , D.E. Cameron, M.A. Rubin and J.J. Tegelberg, Emotion in man as testes by the Delta index of the electroencephalogram: II. Simultaneous records from cortex and from a region near the hypothalamus.
J.gen.Psychol.1938,19:247
100. Höncke, P.L., E.Stromgren und V. Zahle, Elektrencephalographische Untersuchungen an Psychopathen.
Arch.Psychiat.1949,183:55
101. Hughes, R.L. and G. Ketchum, Electroencephalographic study of specific reading disabilities.
EEG Clin.Neurophysiol.1949,1:377
102. Hurst, L.A., A.C. Mundy-Castle and D.M. Beerstecher, The electroencephalogram in manic-depressive psychoses.
J.ment.Sci. 1954,100:220
103. Jahn, W., Zur Beurteilung des Elektroencephalogramms bei gesunden und psychisch kranken oder abnormen Kindern.
Mschr.Psychiat.Neurol.1956,131:36
104. Jarvie, H.F., Episodic rage, Theta rhythm, and obsessions.
J.ment.Sci. 1953,99:252
105. Jasper, H.H., Charting the sea of brain waves.
Science 1948,108:343
106. - , Diffuse projection systems: the integrative action of the thalamic reticular system.
EEG Clin.Neurophysiol.1949,1:405
107. - , and R.M. Cruikshank, Electroencephalography: visual stimulation and the after-image as affecting the occipital Alpha rhythm.
J.gen.Psychol.1937,17:29
108. - , R.M. Cruikshank and H. Howard, Action currents from the occipital region of the brain in man as affected by variables of attention and external stimulation.
Psychol.Bull.1935,32:565
109. - , and C. Shagass, Conditioning the occipital Alpha rhythm in man.
J.exp.Psychol.1941,28:373
110. - , - , Conscious time judgments related to conditioned time intervals and voluntary control of Alpha-rhythm. J.exp.Psychol.1941,28:503

111. Jenkins, R.L. and B.L. Pacella, Electroencephalographic studies of delinquent boys.
Am.J.Orthopsychiat.1943,13:107
112. Jung, R., Allgemeine Neurophysiologie (Kap.I) u. Neurophysiologische Untersuchungsmethoden (Kap.V) im Handbuch der Inneren Medizin, Bd.V,1, 4.Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953
113. Jus, A. und K. Jus (Lodz), L'enregistrement polygraphique et son rôle dans des phénomènes de conditionnement clinique, Paris 1957 (Herausg. H. Fischgold und H. Gastaut)
114. Kellaway, P., Ontogenetic evolution of the electroencephalogram in human and animals.
First Internat.Congress of neurological Sciences, Brüssel 21. - 28. Juli 1957
115. Kennard, M.A., Factors affecting the electroencephalogram in children and adolescents.
J.nerv.ment.Dis.1948,108:442
116. - , Inheritance of EEG patterns in children with behavior disorders.
Psychosomat.Med.1949,11:151
117. - , The EEG in psychological disorders.
Psychosomat.Med.1953,15:95
118. - , and M.D. Willner, Significance of paroxysmal patterns in electroencephalograms of children without clinical epilepsy.
Res.Publ.Ass.nerv.ment.Dis.1947,26:308
119. - , M.S.Rabinovitch and D. Wexler, The abnormal EEG as related to reading disability in children with disorders of behavior.
Canad.Med.Ass.J.1952,67:330
120. - , M.S. Rabinovitch and W.P. Fister, The use of frequency analysis of the EEGs of patients with psychological disorders.
EEG Clin.Neurophysiol.1955,7:29
121. - , and A.E. Schwartzman, A longitudinal study of changes in EEG frequency pattern as related to psychological changes.
J.nerv.ment.Dis.1956,124:8
122. - , - , A longitudinal study of electroencephalographic frequency patterns in mental hospital patients and normal controls.
EEG Clin.Neurophysiol.1957,9:263

123. Kennard, M.A., A.E. Schwartzman and T.P. Millar, Sleep, consciousness and the Alpha electroencephalographic rhythm.
Arch.Neurol.Psychiat. 1958,79:328
124. Kibbler, G.O., J.L. Boreham and D. Richter, Relation of the Alpha rhythm of the brain to psychomotor phenomena.
Nature, 1949,164:371
125. - , and D. Richter, Alpha rhythm and motor activity.
EEG Clin.Neurophysiol.1950,2:227
- Knott, J.R., Brain potentials during silent and oral reading.
J.gen.Psychol.1938,18:57
126. - , Some effects of "mental set" upon electrophysiological processes of the human cerebral cortex.
J.exp.Psychol.1939,24:384
127. - , Electroencephalography and physiological psychology: evaluation and statement of problem.
Psychol.Bull.1941,38:144
128. - , and Travis, L.W., A note on the relationship between duration and amplitude of cortical potentials.
J.Psychol.1937,3:169
129. - , and C.E. Henry, The conditioning of the blocking of the Alpha rhythm of the human electroencephalogram.
J.exp.Psychol.1941,28:134
130. - , H. Friedman and R. Bardsley, Some electroencephalographic correlates of intelligence in 8 year and 12 year old children.
J.exp.Psychol.1942,30:380
131. Kreezer, G., Electric potentials of the brain in certain types of mental deficiency.
Arch.Neurol.Psychiat.1936,36:1206
132. - , Electrophysiological methods and their use in the investigation of growth and development.
Am.J.Psychol.1937,49:479
133. - , The EEG and its uses in psychology.
Am.J.Psychol.1938,51:737
134. - , and F.W. Smith, The relation of the Alpha rhythm of the electroencephalogram and intelligenc level in the non-differentiated familial type of mental deficiency.
J.Psychol.1950,29:47
135. Lansing, R.W., Relation of brain and tremor rhythms to visual reaction time.
EEG Clin.Neurophysiol.1957,9:497

136. Lemere, F., The significance of individual differences in the Berger rhythm.
Brain 1936,59:366
137. - , Cortical energy production in the psychoses.
Psychosomat.Med.1941,3:152
138. Lennox, W.G. and E.L. Gibbs, Intelligence and electroencephalograms of normal and epileptic twins.
Trans.Amer.Neurol.Ass.1944,70:182
139. - , - , and F.A. Gibbs, The brain wave pattern, an hereditary trait.
J.Hered.1945,36:233
140. Lersch, Ph., Aufbau der Person, 4.Aufl., München 1951
141. Levy, S.,and M. Kennard, A study of the EEG as related to personality structure in a group of inmates of a state penitentiary
Amer.J.Psychiat.1953,109:832
142. - , - , The EEG pattern of patients with psychological disorders of various ages.
J.nerv.ment.Dis.1953,118:416
143. Liberson, W.T., Abnormal brain waves and intellectual impairment.
Digest Neurol.Psychiat.1944,12:234
144. - , Study of word association processes; depression of Alpha activity during administration of test.
Digest, Neurol.Psychiat.1945,13:594
145. - , Ondes électriques du cerveau et intelligence chez les malades mentaux.
Ann.Psychol.1951,50:677
146. - , et C.A. Sequin, Brain waves and heredity in mental diseases.
Psychosomat.Med.1945,7:35
147. Lindsley, D.B., Emotion (chapter 14) in: Handbook of experimental psychology (S.S.Stevens, ed.), New York - London 1951
148. - , Psychological phenomena and the electroencephalogram
EEG Clin.Neurophysiol.1952,4:443
149. - , Higher functions of the central nervous system.
Ann.Rev.Physiol.1953,17:311
150. - , and C. Bradley, Electroencephalography as an aid to understanding certain behavior disorders of childhood.
Z.Kinderpsychiat.1939,6:33
151. - , and K.K. Cutts, Electroencephalograms of "constitutionally inferior" and behavior problem children.
Arch.Neurol.Psychiat.1940,44:1199

152. Lindsley, D., and C.E. Henry, The effect of drugs on behavior and the electroencephalograms of children with behavior disorders. Psychosom.Med., 1942,4:140
153. Loomis, A.L., E.N. Harvey and G. Hobart, Brain potentials during hypnosis. Science 1936,83:239
154. - , - , - , Cerebral states during sleep, as studied by human brain potentials. J.exp.Psychol.1937,21:127
155. Lundholm, H., and H. Löwenbach, Hypnosis and the Alpha-activity of the electroencephalogram. Charact. and Personal. 1942,11:145
156. Martin, J.P., Consciousness and its disturbances. Lancet 1949,257: 1 u.48
157. Martinson, B.M., Study of brain potentials during mental blocking. J.exp.Psychol.1939,24:143
158. Mc Adam, W. and J.E.Orme, Personality traits and the normal electroencephalogram. J.ment.Sci.1954,100:913.
159. Mc Cranie, E.J., H.B. Crasilneck and H.R. Teter, The electroencephalogram in hypnotic age regression. Psychiat.Quart.1955,29:85
160. Melin, K.A., The influence of the emotions on the EEG. Schweiz.Arch.Neurol.Psychiat.1953,71:227
161. Merrill, G.G., and E.E. Cook, Electroencephalogram in the negro. A comparison of the electrical activity of the brain in white and negro patients. EEG Clin.Neurophysiol.1957,9:351
162. Michaels, J.J., and L. Secunda, Relationship of neurotic traits to the EEG in children with behavior disorders. Am.J.Psychiat.1944,101:407
163. - , Relationship of anti-social traits to the EEG in children with behavior disorders. Psychosomat.Med. 1945,7:41
164. Monnier, M., L'organisation des fonctions psychiques à la lumière de l'électroencéphalogramme. Schweiz.Arch.Neurolog.Psychiat. 1955,66:387
165. - , L'organisation des fonctions psychiques à la lueur des données neurophysiologiques. Dialectica 1950,4:169
166. Müller-Limmroth, W. und H. Caspers, Theorien über den Entstehungsmechanismus der Spontanrhythmen im normalen Elektrencephalogramm. Klin.Wschr.1956,34:337

167. Mundy-Castle, A.C., L'électroencéphalogramme et sa relation avec le tempérament, in: Conditionnement et réactivité (Fischgold et Gastaut), S.221
168. - , Theta- and Beta-rhythm in the electroencephalograms of normal adults.
EEG Clin.Neurophysiol.1951,3:477
169. Ostow, M., Psychic function and the EEG.
Arch.Neurol.Psychiat.1950,64:385
170. Pacella, B.L., The EEG in behavior disorders, in: Modern trends in child psychiatry, New York 1946
171. Palmer, D.M. and H.A. Rock, High Alpha incidence in the EEG and personality patterning.
EEG Clin.Neurophysiol.1951,3:374
172. Penfield, W. and H. Jasper, Epilepsy and the functional anatomy of the human brain. Boston 1954
173. Popov, N.A., Contribution à l'étude de la reaction d'arrêt du rythme alpha chez l'homme. C.R.Soc.Biol.1950,144:1667
174. Posey, H.T., The EEG in mental deficiency.
Amer.J.ment.Defic.1951,55:515
175. Rabinovitch, M.S., and M.A. Kennard, Personality correlates of electroencephalographic patterns: Rorschach findings.
Canad.J.Psychol.1955,9:29
176. Rémy, M., L'affectivité dans l'électroencéphalogramme.
Ann.méd.-psychol.1949,107:341
177. - , Über den Beta-Rhythmus im menschlichen EEG.
Mschr.Psychiat.Neurol.1955,129:207
178. Rohmer, F., and L. Israel, The electroencephalogram in "autogenic training". EEG Clin.Neurophysiol.1957,9:566
179. Rohrer, H., Die gehirnelektrischen Erscheinungen bei geistiger Arbeit. Z. Psychol. 1935,136:308
180. Rondepierre, J., G. Verdeaux and J. Oulès, Electro-encéphalogramme et troubles mentaux. Ann.méd.-psychol.1950,108
181. Rousinov, V.S. et G.D. Smirnow, Quelques données sur l'étude électroencéphalographique de l'activité nerveuse supérieure, in: Conditionnement et réactivité en électro-encéphalographie (éd. H.Fischgold et H.Gastaut), Paris 1957.
182. Saul, L.J., H. Davis and P.A. Davis, Psychologic correlation with the EEG. Psychosomat.Med.1949, 11:361
183. Schütz, E. und H.W. Müller-Limmroth, Elektroencephalographische Befunde bei geistig rückständigen Kindern.
Nervenarzt 1952,23/455

184. Selbach, H., Die cerebralen Anfallsleiden, in: Handbuch der Inneren Medizin, Bad.V,3. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953
185. Shagass, C., Conditioning the human occipital Alpha rhythm to voluntary stimulus. J.exp.Psychol.1942,31:367
186. - , Attempt to correlate occipital Alpha frequency with performance on mental ability test.
J. exp. Psychol.1946,36:88
187. Short, P.L., The objective study of mental imagery.
Brit.J.Psychol.1953,44:38
188. - , and W.G. Walter, The relationship between physiological variables and stereognosis.
EEG Clin.Neurophysiol.1954,6:29
189. Silverman, D., The electroencephalogram of criminals, analysis of 411 cases. Arch.Neurol.Psychiat.1945,54:138
190. Simon, C.W., and W.H. Emmons, EEG, consciousness and sleep.
Science 1956,124:1066
191. Simons, D.J., and O. Diethelm, Electroencephalographic studies of psychopathic personalities. Arch.Neurol.Psychiat.1946, 55:619
192. Sirna, A.A., An electroencephalographic study of the hypnotic dream. J.Psychol.1945,20:109
193. Sisson, B.D., and R.J. Ellingson, On the relationship between "normal" EEG patterns and personality variables.
J.nerv.ment.Dis.1955,122:353
194. Solomon, C.I., W.T. Brown and M. Deutscher, Electroencephalography in behavior problem children.
Am.J.Psychiat.1944,101:51
195. Spiegel, E.A., Wycis, H.T., H. Freed and C. Orchinik, The central mechanism of the emotions. Am.J.Psychiat.1951,108:426
196. Taterka, J. and J. Katz, Study of correlations between electroencephalographic and psychological patterns in emotionally disturbed children. Psychosomat.Med.1955,17:62
197. Teitelbaum, H.A., The role of the cerebral cortex in the dynamics of personality as a holistic organism-environment system. J.nerv.ment.Dis.1952,115:489
198. Toman, J.E.P., The electroencephalogram during mental effort.
Fed.Proc.1943,2:49
199. Travis, L.W., Brain potentials and the temporal course of consciousness. J.exp.Psychol.1937,21:302

200. Travis, L.E., and V. Barber, The effect of tactile stimulation upon the Berger rhythm. J.exp.Psychol.1938,22:269
201. - , and J.P. Egan, Conditioning of the electrical response of the cortex. J. exp.Psychol.1938,22:524
202. - , - , Increase in frequency of Alpha rhythm by verbal stimulation. J.exp.Psychol.1938,23:384
203. - , and A. Gottlober, Do brain waves have individuality? Science 1936,84:532
204. - , - , How consistent are an individual's brain-waves from day to day? Science 1937,85:223
205. - , and M. Hall, The effect of visual after-sensation upon brain potential patterning under different degrees of attention. J.exp.Psychol.1938,22:472
206. - , and J.R. Knott, Brain potential studies of perseveration: I. perseveration time to light. J.Psychol.1937,3:97
207. - , - , II. perseveration time to visually presented words. J.exp.Psychol.1937,21:353
208. Walsh, E.G., "Visual attention" and the Alpha rhythm. J.Physiol.1953,120:155
209. Walter, W.G., Normal rhythms - their development, distribution and significance. In: Electroencephalography (D.Hill and G. Parr), London 1950
210. Walter, R.D., and C.L. Yeager, Visual imagery and electroencephalographic changes. EEG Clin.Neurophysiol.1956,8:193
211. Werre, P.F., The relationships between electroencephalographic and psychological data in normal adults. Leiden 1957
212. Williams, A.C., Some psychological correlates of the electroencephalogram. Arch.Psychol., New York 1939,34; N^o 240
213. - , Facilitation of the Alpha rhythm of the electroencephalogram. J.exp.Psychol.1940,26:413
214. Williams, D., The significance of an abnormal EEG. J.Neurol.Psychiat.1941,4:257
215. - , Cerebral basis of temperament and personality. Lancet 1954,267:1
216. Wheeler, E.T. and Y.D. Koskoff, Certain aspects of personality as related to the electroencephalogram. Am.Psychol.1948,3:278

217. Yoshii, N., Principes méthodologiques de l'investigation électro-encéphalographique du comportement conditionné, in: Conditionnement et reactivité en électroencéphalographie (éd. H.Fischgold et H.Gastaut) Paris 1957
218. Zeise, W., Die latente Epilepsie des Kindesalters. Schule und Psychologie, 1957,4:22

+ + +

Lebenslauf

Ich wurde am 26. Oktober 1927 als zweites Kind des Arztes Dr. med. Herbert Müller (gefallen 1940) und seiner Frau Irmgard geb. Ehrhardt in Coburg geboren. Dort besuchte ich vier Jahre lang die Volksschule und neun Jahre lang, bis zum Abitur im Juli 1947, das humanistische Gymnasium. Im April 1948 begann ich in Tübingen mit dem Studium der Neuphilologie. Im Sommersemester 1949 wechselte ich zur Psychologie über. Nach einem Semester in Heidelberg (SS 50) und einem mehrmonatigen Aufenthalt in England ging ich im Frühjahr 1951 an die Universität München, wo ich im März 1952 die Vordiplom-Prüfung ablegte. Im Juli 1953 kam ich als Austauschstudentin im Fulbright-Programm für ein Jahr an die Cornell-Universität im Staat New York. Nach meiner Rückkehr legte ich im November 1954 an der Universität München die Diplomprüfung für Psychologen ab. Vom 1. März 1955 bis 30. September 1956 hatte ich eine Praktikantenstelle im Wissenschaftlichen Laboratorium für Elektroencephalographie der Universitäts-Nervenklinik Erlangen inne. Dabei konnte ich die Unterlagen für meine Dissertation sammeln. Ab 1.11.1958 wurde ich als Volontär-Assistentin an der Universitäts-Nervenklinik Erlangen eingestellt.

